

**Universidad Pública de Navarra**

***Nafarroako Unibertsitate Publikoa***

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN  
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO***

**DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE  
ACCESIBILIDAD PARA LA EXPLOTACIÓN FORESTAL**

presentado por

**BEATRIZ OCTAVIO MARTINICORENA**

Director:

Dr. Mikel Goñi Garatea

**MÁSTER EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN  
*MASTERRA INFORMAZIO SISTEMA GEOGRAFIKOETAN ETA TELEDETEKZIOAN***

Septiembre, 2016





## RESUMEN

La concepción de este modelo de accesibilidad de la maquinaria forestal en los montes navarros pretende ser una herramienta de apoyo para la planificación de los aprovechamientos forestales maderables, junto con la integración de las nuevas tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta integración constituye una herramienta imprescindible para el profundo conocimiento del medio natural en el cual se desarrollan distintos trabajos de disciplina forestal.

La programación del modelo, en lenguaje Python, persigue una primera aproximación, ya que, se han tenido en cuenta parámetros esenciales como son la pendiente del terreno y la red de pistas forestales. Para la creación y ejecución del modelo se ha utilizado el software ArcGIS for Desktop, puesto que éste presenta una amplia selección de herramientas de geoprocésamiento y análisis.

La aplicación de las herramientas de SIG permite generar y analizar la información de naturaleza espacial, temática y temporales, obteniendo así una representación gráfica real, precisa y completa del territorio.

**Palabras clave:** modelo Python, accesibilidad, explotación forestal.

## ABSTRACT

The design of this model of accessibility of forest machinery in Navarrese forests pretend to be a learning supporting tool for the development of forest harvesting, together with the integration of new technologies, such as Geographic Information System (GIS). This integration constituted an essential tool for the detailed knowledge of the environment in which different works of Forest disciplines are carry out.

The programming in Python language, chase a first approximation, being that, have been taken into account essential parameters like slope of the terrain and network of forest tracks. For the creation and implementation of the model it has been used a software called ArcGIS for Desktop, as it presents a wide range of geoprocessing and analysis tools.

The application of GIS tools allows generating and analysing spatial, thematic and temporal information, obtaining in this way an actual, accurate and complete graphic representation of the territory.

**Key words:** Python model, accessibility, forest harvesting.



## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	5
1.1	Trabajos relacionados .....	7
1.2	Empresa .....	7
2.	OBJETIVOS .....	9
3.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
3.1	Área de estudio .....	10
3.1.1	Municipio de Imotz .....	10
3.1.2	Valle de Erronkari .....	12
3.2	Material empleado .....	15
3.2.1	Software utilizado .....	15
3.2.2	Datos cartográficos de partida .....	16
3.3	Método de análisis .....	16
3.3.1	Maquinaria de desembosque .....	16
3.3.2	Datos de entrada del modelo .....	21
3.3.3	Creación de las Geodatabases e instalación de la caja de herramientas .....	21
3.3.4	Creación del modelo Python .....	23
3.3.4.1	Caso del skidder .....	25
3.3.4.2	Caso de la procesadora y el autocargador .....	30
3.3.5	Cartografía .....	31
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	32
4.1	Modelo de accesibilidad de Imotz .....	32
4.1.1	Accesibilidad del skidder .....	32
4.1.2	Accesibilidad de la procesadora y el autocargador .....	35
4.2	Modelo de accesibilidad de Erronkari .....	35
4.2.1	Accesibilidad del skidder .....	35
5.	CONCLUSIONES .....	43
6.	BIBLIOGRAFÍA .....	45
7.	ANEXOS .....	46

**ANEXO 1.** SCRIPTS CREADOS DE LOS MODELOS DE ACCESIBILIDAD.

**ANEXO 2.** DIAGRAMAS DE LOS MODELOS.

**ANEXO 3.** MAPA 1: LOCALIZACIÓN Y SITUACIÓN DE IMOTZ.

**ANEXO 4.** MAPA 2: LOCALIZACIÓN Y SITUACIÓN DE ERRONKARI.

**ANEXO 5.** MAPA 3: ACCESIBILIDAD DEL SKIDDER EN IMOTZ.

**ANEXO 6.** MAPA 4: ACCESIBILIDAD DE LA PROCESADORA Y EL AUTOCARGADOR EN IMOTZ.

**ANEXO 7.** MAPA 5: ACCESIBILIDAD DEL SKIDDER EN ERRONKARI.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Logotipo de la empresa Basarte SL. ....	8
Figura 2. Rango de altitudes del municipio de Imotz. ....	11
Figura 3. Rango de pendientes del municipio de Imotz. ....	12
Figura 4. Rango de altitudes del valle de Erronkari. ....	13
Figura 5. Rango de pendientes del valle de Erronkari. ....	14
Figura 6. Skidder realizando la saca con cable, arrastrando madera larga. ....	17
Figura 7. Skidder realizando la saca de las trozas de manera suspendida. ....	17
Figura 8. Procesadora ejecutando los diferentes trabajos realizados para el aprovechamiento forestal. ....	19
Figura 9. Autocargador cargando las trozas en la caja con la grúa hidráulica. ....	20
Figura 10. Ejemplo de una tablaINFO creada en ArcGIS, con los valores de la pendiente para el modelo del skidder (0-30% = 1, 30-110%= 2 y 110-999%= 3). ....	21
Figura 11. Esquema de las carpetas de trabajo y de las geodatabases creadas por el usuario antes de ejecutar el script. ....	22
Figura 12. Esquema de los datos de entrada en la geodatabase Input. ....	22
Figura 13. Caja de herramientas creada, con las secuencias de comandos para el skidder y la procesadora y el autocargador, del modelo de accesibilidad. ....	22
Figura 14. Representación gráfica de la capa de pendientes reclasificada. ....	24
Figura 15. Parámetros de entrada del modelo, una vez se ejecuta el script. ....	25
Figura 16. Zonas transitables y accesibles para el skidder en el municipio de Imotz, junto con las zonas desde el límite de éstas que se trabaja con cable. ....	33
Figura 17. Zonas del municipio de Imotz de desembosque desde pista, tematizadas por las diferentes longitudes del cable según la orografía (aguas arriba y aguas abajo). ....	34
Figura 18. Zonas explotables pero no accesibles y zonas no explotables presentes en el municipio de Imotz. ....	34
Figura 19. Zonas de accesibilidad a la explotación de la procesadora junto con el autocargador del municipio de Imotz. ....	35
Figura 20. Representación gráfica de la ocupación del suelo del valle de Erronkari. ....	36
Figura 21. Zonas transitables y accesibles para el skidder en el valle de Erronkari, junto con las zonas desde el límite de éstas que se trabaja con cable. ....	38
Figura 22. Zonas de Erronkari de desembosque desde pista, tematizadas por las diferentes longitudes del cable según la orografía (aguas arriba y aguas abajo). ....	39
Figura 23. Zonas explotables pero no accesibles y zonas no explotables presentes en Erronkari. ....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Superficie de los rangos altitudinales del municipio de Imotz. ....	10
Tabla 2. Distribución de superficies en función de la pendiente en el municipio de Imotz.....	11
Tabla 3. Características de los rangos altitudinales del valle de Erronkari. ....	12
Tabla 4. Distribución de superficies en función de la pendiente en el valle de Erronkari.....	13
Tabla 5. Resumen de los parámetros utilizados en el modelo Python para el skidder.....	18
Tabla 6. Resumen de los parámetros utilizados en el modelo Python para la procesadora y el autocargador.....	20
Tabla 7. Ejemplo de los valores de la tabla de pendientes introducida para el modelo del skidder.....	25
Tabla 8. Ejemplo de los valores de la tabla de pendientes introducida para el modelo de la procesadora y el autocargador.....	30
Tabla 9. Superficies de las diferentes zonas obtenidas por el modelo de accesibilidad del skidder en Imotz.....	33
Tabla 10. Superficies de cada ocupación del suelo en las zonas transitables y accesibles del valle de Erronkari.....	36
Tabla 11. Superficies de las diferentes zonas obtenidas por el modelo de accesibilidad del skidder en el valle de Erronkari.....	37

## 1. INTRODUCCIÓN

La gestión de los recursos forestales requiere la integración de gran número de datos referenciados en el espacio y en el tiempo. Para el manejo y análisis de toda la información los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son en la actualidad una herramienta imprescindible en la toma de decisiones respecto al manejo de los recursos (Fernández, 2012).

Los SIG a través de sus múltiples herramientas y aplicaciones, permiten gestionar, analizar y generar toda la información relevante para una adecuada planificación de actividades relacionadas con el sector forestal (Mena et al. 2006). Por lo tanto, proporcionan una herramienta imprescindible a la hora de planificar, diseñar y tomar decisiones adecuadas en la gestión forestal.

En Navarra el 64% del territorio es forestal y de esa superficie 450.000 hectáreas están cubiertas por bosques, siendo el resto matorrales o pastizales. El 80% de estos bosques son autóctonos y en los últimos años la superficie arbolada en Navarra según el III Inventario Forestal Nacional (IFN) se ha incrementado un 24%.

La estrategia forestal navarra ha adoptado una postura integradora, defendiendo que el aprovechamiento forestal de los recursos es perfectamente compatible con la conservación de los mismos. La sostenibilidad ambiental debe ser también económica y social. Ambiental, asegurando una correcta conservación de la diversidad biológica; económica, asegurando ingresos para los propietarios forestales y la industria; y social, mediante la generación de puestos de trabajo y el mantenimiento de la población rural. La apuesta es clara, conservar gestionando y generando riqueza (Gobierno de Navarra, 2012).

La madera con una adecuada gestión es un recurso natural totalmente renovable, cuya demanda mundial es creciente. Gran parte de las ciencias forestales de planificación y manejo (ordenación de montes y silvicultura) están dedicadas a su aprovechamiento.

Por tanto, la gestión forestal implica una serie de actividades variadas, y dentro de estas los proyectos de ordenación de montes son una herramienta que permite planificar, gestionar y controlar los aprovechamientos forestales que se llevan a cabo en una zona determinada (Madrigal, 1994). De modo que la ordenación establece los objetivos y funciones específicas que deben satisfacer el monte planificando en el espacio y en el tiempo las actuaciones y restricciones necesarias para la consecución de los mismos (Martínez, 2014).

El aprovechamiento forestal se lleva a cabo por medio de diversas técnicas para las que se cuenta con diversos medios y formas de organización del trabajo. Las fases principales de un aprovechamiento son: apeo y elaboración de la madera, la extracción de la madera (desembosque) y transporte de la madera a fábrica. Entre estas fases, el desembosque es la operación más costosa de la cadena de transporte, ya sea manual, por medio de animales o por máquinas.

Los aprovechamientos son, por lo tanto, una fase crítica en el uso ordenado de los recursos forestales, por lo que parece previsible un gran interés y dedicación a los materiales y técnicas de aprovechamiento por parte de sectores científicos y técnicos que dedican sus esfuerzos a la gestión forestal.

Según el Código de Prácticas de Aprovechamiento Forestal de FAO, la saca es el proceso de transporte de los árboles o rollizos desde la zona de corta hasta un cargadero o un apartadero en la carretera, donde serán convertidos en trozas o apilados junto a otros árboles para su transporte a la fábrica de elaboración o hacia otro destino final. Existen varios sistemas de saca reconocidos: saca por arrastre, saca con vehículos que transportan la carga levantada del suelo, saca con cable, saca aérea, saca con animales de tiro, entre otros (Heinrich, 1996).

Los trabajos de recogida de madera en el monte y el traslado a cargue de camión requieren de una buena organización y planificación, con el fin de que la explotación forestal resulte correcta económica y medioambientalmente.

Dentro de la explotación forestal el skidder o arrastrador (figura 6), junto con la motosierra, constituye la máquina forestal más difundida de los métodos de saca en nuestras latitudes. Los skidders son los tractores forestales por antonomasia, encargados en la gran mayoría de las explotaciones forestales de transportar las trozas desde el punto de apeo hasta el cargadero. Aunque en la actualidad los tractores forestales se han ampliado con los autocargadores (figura 9) y las máquinas procesadoras (figura 8) (Instituto navarro de salud laboral, 2012).

Generalmente se utiliza el skidder en madera gruesa y siempre que haya que cablear; con autocargador, cuando los accesos o el tipo de monte permite acercarnos hasta donde se encuentra la madera y la capacidad de la grúa permite cargarlo; animales de arrastre, generalmente mulos, cuando por dificultades de la orografía imposibilita el desplazamiento de las máquinas y se desenvuelven bien éstos animales; o por cable, cuando el tipo de explotación así lo requiere.

En el desembosque influye la distancia, la pendiente del terreno, la existencia o no de infraestructuras, el tamaño de los árboles y la dirección de apeo, las labores de desramado y tronzado, la existencia o no de sotobosque denso, la presencia de regenerado, la pedregosidad, etc.

A esta operación no se le ha dado la importancia que merece, ya que una red de pistas bien realizada revaloriza el monte y facilita el desembosque. De esta forma, se disminuyen de manera importante los riesgos de accidentes, se reducen los costes de los trabajos, se evitan daños en el arbolado, se permite un mejor cuidado del monte y se acerca de manera significativa la naturaleza a la población que desee disfrutar de ella.

De tal manera que para llevar a cabo cualquier aprovechamiento, es primordial tener una buena infraestructura (pistas forestales, vías de saca, vías de desembosque, etc.) dentro del monte. Cuando nos referimos a estas infraestructuras, nos estamos refiriendo a los espacios a través de los cuales van a desplazarse las máquinas y vehículos para la realización de los trabajos en el monte, incluidos los de extracción de madera.

Por lo que las infraestructuras ya existente en la zona a explotar, nos condicionara a la hora de planificar el aprovechamiento (estado de las pistas, firmes, accesibilidad, etc.). La red viaria que contiene la zona a explotar, junto con el relieve, son dos parámetros esenciales para poder planificar que tipo de maquinaria puede soportar el monte. En otras palabras, la red de pistas y la pendiente del terreno nos marcaran la accesibilidad del monte a aprovechar.

Por ello, este trabajo pretende ser una herramienta para obtención de una primera aproximación de la accesibilidad para la explotación forestal. Para el estudio de la accesibilidad de la zona a explotar, se ha elabora un modelo Python para asignar de forma automática las zonas accesibles para la explotación forestal, dependiendo del método de desembosque escogido (skidder o procesadora y autocargador). El modelo se basa esencialmente en las infraestructuras presentes en la zona de estudio, y en la pendiente del terreno de ésta.

La elaboración de este modelo, está enfocada al apoyo en la toma de decisiones de la empresa Basartea SL en la planificación y gestión forestal que lleva a cabo.

## 1.1 Trabajos relacionados

Lamentablemente no se han encontrado referencias sobre este tipo de trabajos en el Estado, si bien pueden existir, ya que, la tecnología y el conocimiento existen. No obstante, se han encontrado diferentes publicaciones similares a este proyecto, pero están enfocadas al aprovechamiento de la biomasa y el objetivo de estas son calcular la ruta optima del desembosque y de transporte, con lo cual dista del proyecto presente.

Existe un trabajo similar desarrollado en Francia por el centro IRSTEA en Grenoble por Sylvain Dupire llamado “Sylvaccess” que nos servirá de guía y referencia. Este modelo permite asignar automáticamente la accesibilidad y la distancia de desembosque en función de los principales sistemas de aprovechamiento utilizados actualmente en Francia: skidder, autocargador y la extracción por cable.

Éste se basa en fuentes de información espacial y se codifica en Python. También ofrece la posibilidad de integrar las barreras físicas y ambientales en el análisis: edificios, vías férreas, líneas eléctricas, humedales, captaciones de agua, etc. Los resultados del modelo se utilizan para muchas aplicaciones forestales tales como la gestión y planificación de las operaciones de explotación forestal junto con la elaboración de proyectos de redes de pistas y estudios de recursos.

Sylvaccess está basado en el software libre y el modelo está disponible bajo la licencia CeCILL. Además los usuarios pueden utilizarlo de forma gratuita y asignar parámetros según cada caso.

La razón por la que no se ha utilizado el modelo Sylvaccess, es debido a la disparidad de los métodos de explotación utilizados en Navarra y en Francia a causa de la orografía.

Por otro lado, la empresa tuvo el interés de realizar un nuevo modelo, ya que, era una mejora que planteaban ellos en otros trabajos.

## 1.2 Empresa

Basarte SL es una empresa navarra fundada en 1996 que ofrece servicios de asesoría técnica en diversos campos relacionados con el medio ambiente.

Habiendo empezado fundamentalmente con la ordenación forestal de numerosos montes, tanto públicos como privados, ha ido ampliando su campo de acción a otras regiones y a otros dominios relacionados con el medio natural y su gestión.

En sus proyectos de ordenación forestal Basarte se ha caracterizado por la mezcla de rigor y creatividad, buscando siempre las soluciones más adaptadas a cada caso.

En cuanto a los otros proyectos de repoblaciones y obras forestales y medioambientales, la empresa pone todo su peso no sólo en el diseño adecuado y a la medida del promotor, sino especialmente en la cuidadosa dirección de obra que realiza.

Basarte ha realizado también otros trabajos con la planificación estratégica, tanto en el ámbito forestal, participando en la elaboración del Plan Forestal de Navarra, como en el de la ordenación del territorio, siendo una de las empresas que han configurado los equipos redactores de las Estrategias Territoriales de Navarra y La Rioja.

La empresa ofrece un amplio abanico de ámbitos de trabajo, como son:

- **Cartografía:** Elaboración de planos de propiedades y planos temáticos, levantamientos GPS e integración SIG.
- **Estudios medioambientales:** Estudios de impacto ambiental, estudios relacionados con la vegetación, la fauna y la conservación.
- **Formación:** De temática forestal y medioambiental y charlas divulgativas.

- **I+D+i:** Empleo y adaptación de tecnología LIDAR a la gestión forestal. Aplicación de técnicas selvícolas novedosas. Desarrollo de aplicaciones informáticas orientadas a la gestión forestal.
- **Informes técnicos y valoraciones:** Valoración de montes e informes periciales.
- **Obra Civil:** Proyectos y dirección de repoblaciones forestales y trabajos selvícolas.
- **Planificación estratégica:** Planes de ordenación del territorio, planes de desarrollo, diagnósticos, planes forestales a escala regional.
- **Planificación forestal:** Proyectos de ordenación de montes, planes de gestión y planes dasocráticos.
- **Uso social:** Diseño de infraestructuras para la acogida turística, creación de senderos temáticos, interpretación ambiental (Basarte SL, 2011).



**Figura 1.** Logotipo de la empresa Basarte SL (Fuente: Basarte SL).

## 2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar un modelo Python para la elaboración automática de mapas de zonas de accesibilidad de los bosques en función del método de desembosque. Como ya se ha mencionado, este modelo pretende ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones en la planificación y gestión forestal para Basartea SL.

Como objetivos secundarios, se pretende:

- Zonificación de la accesibilidad del skidder, y de la procesadora y el autocargador. Identificar zonas accesibles y transitables, zonas de desembosque por pista, zonas no accesibles pero explotables y zonas no explotables.
- Plasmar las zonificaciones de la accesibilidad de las diferentes maquinarias en mapas temáticos.
- Comparación del modelo Python entre dos territorios navarros, que distan por su relieve.



### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudio

Los territorios objeto de estudio se encuentran en el municipio de Imoz (en euskara *Imotz*) y el valle de Roncal (o *Erronkari*).

##### 3.1.1 Municipio de Imotz

Imotz está situado al norte de Navarra (ver Mapa 1) en la Merindad de Iruña en la comarca de Ultzamaldea. Limita al norte con los municipios de Basaburua y Ultzama, al este con Atetz, al sur con Txulapain, Itza y Arakil y al oeste con Larraun. El municipio está compuesto por 8 concejos: Etxaleku -la capital del municipio-, Eraso, Goldaratz, Latasa, Muskitz, Oskotz, Urritza y Zarrantz.

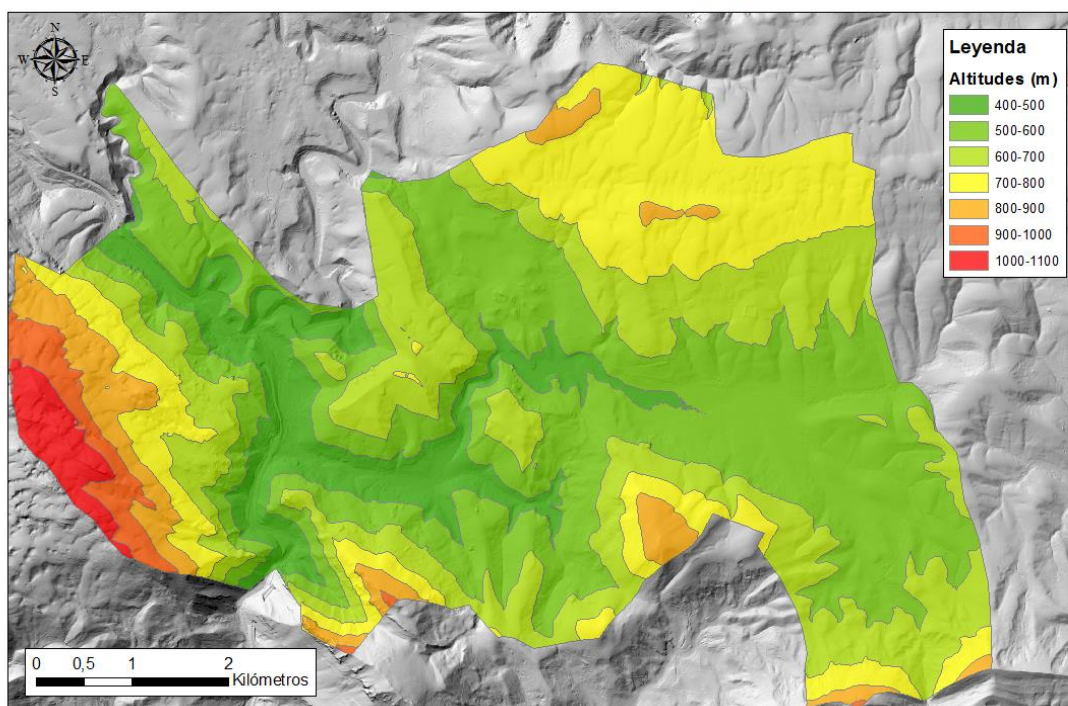
##### ❖ Altitud

El municipio no se caracteriza por un relieve abrupto. La altitud más baja se encuentra en el fondo del valle y ésta se acentúa hacia el suroeste. El rango de altitudes varía desde los 453,81 m hasta los 1.067,60 m. La altitud media del municipio es de 659,70 m. La superficie que ocupa cada rango altitudinal se expone en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Superficie de los rangos altitudinales del municipio de Imotz.

Altitud (m)	Superficie (ha)	%
400-500	460,40	10,86
500-600	1.526,07	36,00
600-700	1.070,05	25,24
700-800	782,65	18,46
800-900	222,20	5,24
900-1000	92,31	2,18
1.000-1.100	85,69	2,02
<b>Total</b>	<b>4.239,37</b>	

## Rango de altitudes (m)



**Figura 2.** Rango de altitudes del municipio de Imotz.

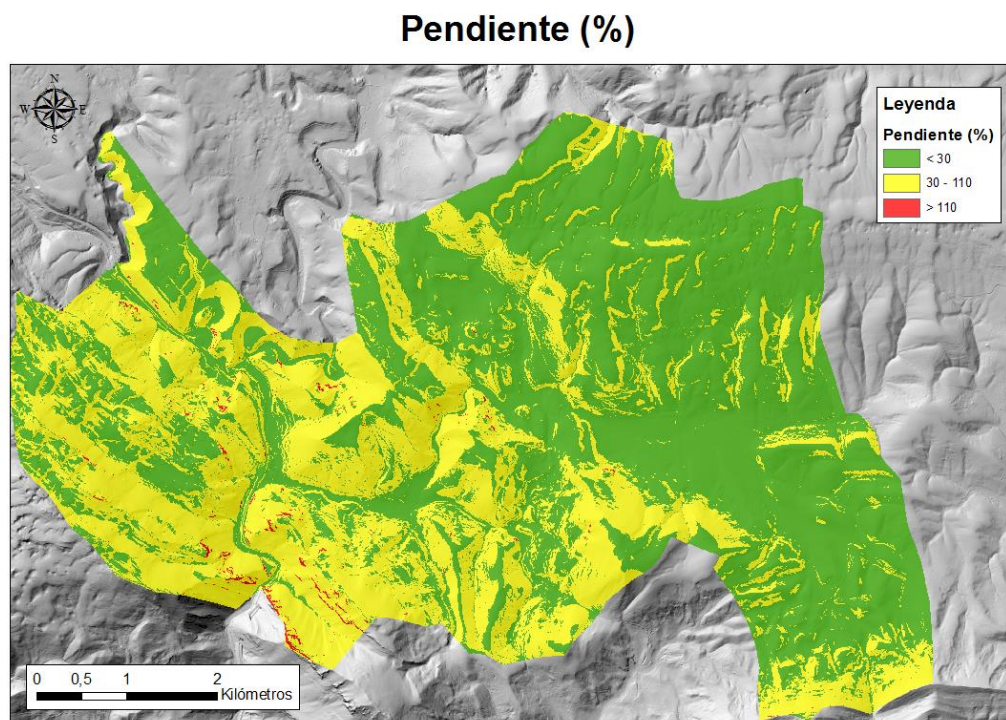
### ❖ Pendiente

La mayor parte del territorio presenta pendientes suaves, ya que, el 57% de la superficie de estudio se encuentra a menos del 30% de pendiente. Lo cual facilitara el aprovechamiento maderable mecanizado de los montes. La pendiente media es de 29.26%. Cabe destacar que sólo un 0,38% de la superficie representa una pendiente elevada.

Las superficies que ocupa cada rango de pendientes se ofrece en la siguiente tabla:

**Tabla 2.** Distribución de superficies en función de la pendiente en el municipio de Imotz.

Pendiente (%)	Superficie (ha)	%
< 30	2.416,14	57,00
30 - 110	1.806,99	42,63
> 110	15,96	0,38
<b>Total</b>	<b>4.239,09</b>	



**Figura 3.** Rango de pendientes del municipio de Imotz.

### 3.1.2 Valle de Erronkari

El valle de Erronkari está enclavado al nordeste de Navarra en la Cordillera de los Pirineos (ver Mapa 2). Limita al norte con Francia, al este con el Valle de Ansó (Huesca), al sur con Salvatierra (Zaragoza) y al oeste con el valle de Salazar. Constituye una mancomunidad de siete villas: Burgi, Garde, Izaba, Erronkari, Urzainki, Uztarroze y Bidankoze.

En el presente estudio se tendrán en cuenta únicamente los montes comunales de Izaba, Erronkari, Urzainki, Uztarroze y Bidankoze. Con lo cual Burgi y Garde quedaran fuera del análisis.

#### ❖ Altitud

El municipio se caracteriza por un relieve escarpado, de orografía montañosa, dada su situación en los Pirineos. La altitud más baja se encuentra en la villa de Erronkari (donde discurre el río Esca) y ésta se acentúa hacia el norte y el este. El rango de altitudes varía desde los 650,00 m hasta los 1.981,00 m. La altitud media del municipio es de 1.128,94 m.

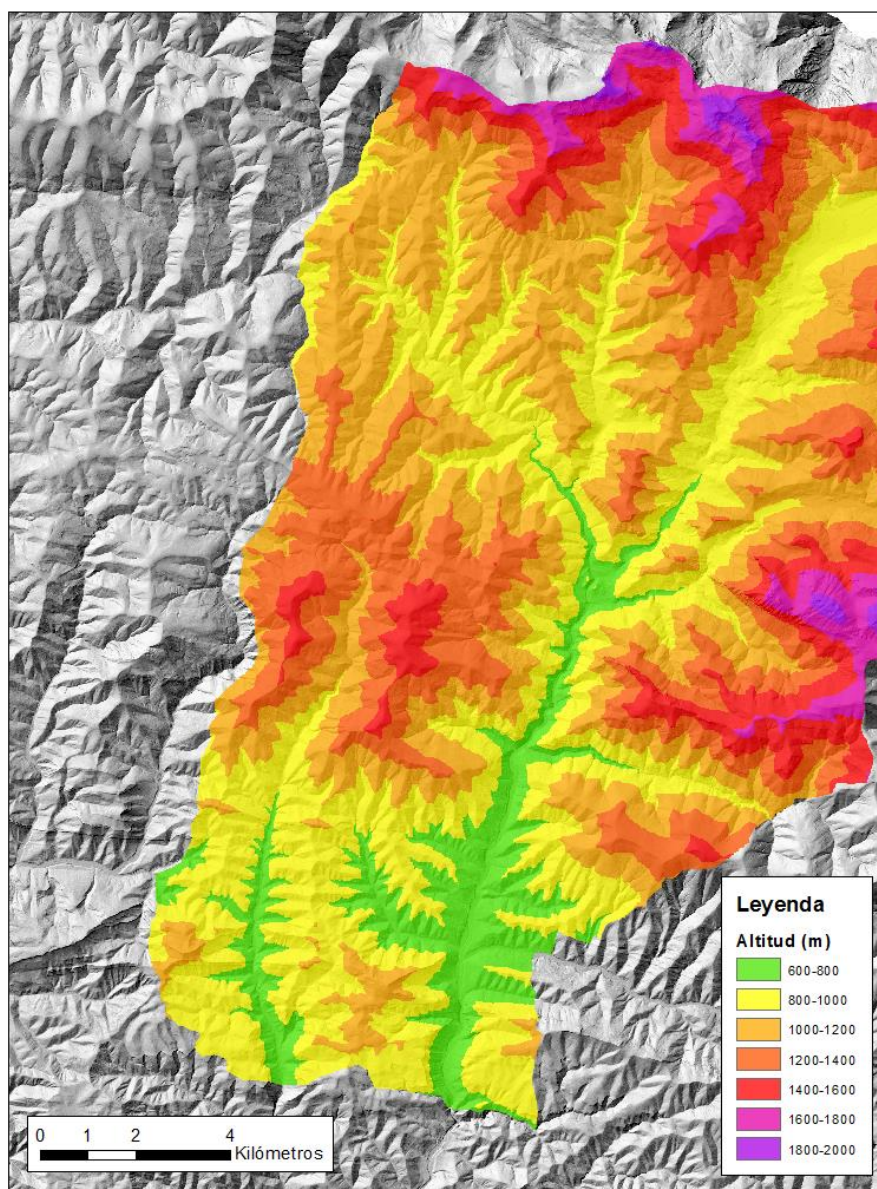
La superficie que ocupa cada rango altitudinal se expone en la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Características de los rangos altitudinales del valle de Erronkari.

Altitud (m)	Superficie (ha)	%
600-800	2.077,37	8,51
800-1.000	7.189,30	29,44
1.000-1.200	7.569,36	31,00
1.200-1.400	4.558,94	18,67
1.400-1.600	1.997,88	8,18
1.600-1.800	873,25	3,58
1.800-2.000	153,66	0,63
<b>Total</b>	<b>24.419,76</b>	



## Rango de altitudes (m)



**Figura 4.** Rango de altitudes del valle de Erronkari.

### ❖ Pendiente

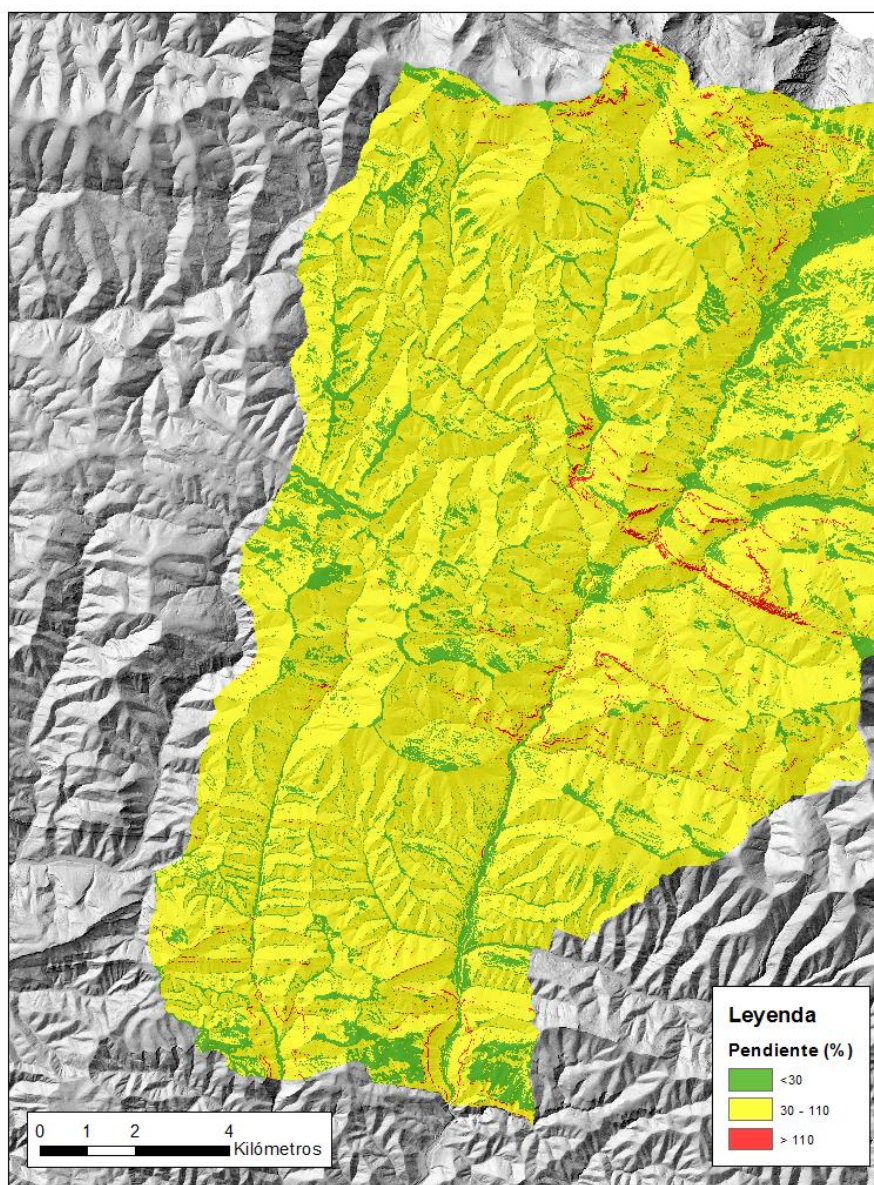
La mayor parte del territorio presenta pendientes moderadas, ya que, el 83% de la superficie de estudio se encuentra entre 30-110% de pendiente. Lo cual condicionará el aprovechamiento maderable mecanizado de los montes. La pendiente media es de 49,32%.

Las superficies que ocupa cada rango de pendientes se ofrece en la siguiente tabla:

**Tabla 4.** Distribución de superficies en función de la pendiente en el valle de Erronkari.

Pendiente (%)	Superficie (ha)	%
< 30	3.895,97	15,95
30 - 110	20.202,16	82,73
> 110	321,64	1,32
<b>Total</b>	<b>24.419,77</b>	

## Pendiente (%)



**Figura 5.** Rango de pendientes del valle de Erronkari.



## 3.2 Material empleado

### 3.2.1 Software utilizado

El software utilizado para la creación del modelo es ArcGIS Desktop, debido a que en la empresa es el programa que se utiliza para manejar la información SIG. Dentro de él existen diferentes herramientas y extensiones que serán de interés para este trabajo:

- **La herramienta de Geodatabase:** La geodatabase es la estructura de datos nativa para ArcGIS y es el formato de datos principal que se utiliza para la edición y administración de datos. Mientras ArcGIS trabaja con información geográfica en numerosos formatos de archivo del Sistema de Información Geográfica, está diseñado para trabajar con las capacidades de la geodatabase y así sacarles provecho (Martínez, 2014).
- **Python en el geoprocesamiento:** El lenguaje de las secuencias de comandos de ArcGIS es Python. ArcGIS incluye una API de Python, ArcPy, que proporciona acceso a todas las herramientas de geoprocesamiento, así como a funciones de secuencias de comandos y módulos especializados que ayudan a automatizar las tareas de SIG. Puede escribir secuencias de comandos que usan ArcPy junto con diversas funciones que se proporcionan a través de las bibliotecas de Python estándar y de otras bibliotecas creadas por terceros. Puede ejecutar comandos y secuencias de comandos de Python en la ventana de Python, a través de herramientas de secuencias de comandos, o bien puede ejecutar Python fuera de ArcGIS Pro. Independientemente de cómo ejecute Python, básicamente los comandos funcionan del mismo modo y utilizan las mismas herramientas de geoprocesamiento (Esri, 2016).
- **La herramienta Análisis espacial:** Es una extensión del ArcGIS que proporciona una amplia gama de recursos importantes dedicados al análisis y modelado espacial. Se pueden crear, consultar, trazar mapas y analizar datos de rásteres basados en celdas; llevar a cabo un análisis integrado del ráster/vector; obtener información nueva de los datos existentes; consultar la información a través de varias capas de datos; así como integrar completamente los datos de rásteres basados en celdas con fuentes de datos vectoriales tradicionales (Martínez, 2014).
- **La herramienta de Administración de datos:** La caja de herramientas Administración de datos ofrece un amplio y variado conjunto de herramientas utilizado para desarrollar, administrar y mantener estructuras de clases de entidad, datasets, capas y datos ráster (Esri, 2016).

Para programar el modelo de este trabajo se ha optado por el lenguaje libre de Python. Éste es un lenguaje de programación interpretado, fácil de aprender, intuitivo y poco restrictivo. Cuenta con estructuras de datos eficientes y de alto nivel y un enfoque simple pero efectivo a la programación orientada a objetos. La elegante sintaxis de Python y su tipado dinámico, junto con su naturaleza interpretada, hacen de éste un lenguaje ideal para scripting y desarrollo rápido de aplicaciones en diversas áreas y sobre la mayoría de las plataformas.

Las aplicaciones y las secuencias de comandos de ArcGIS escritas utilizando ArcPy se benefician de ser capaces de acceder y trabajar con los numerosos módulos de Python desarrollados por los profesionales y los programadores de SIG a partir de diversas disciplinas. La característica adicional del uso de ArcPy dentro de Python es el hecho de que Python es un lenguaje de programación de uso general que es fácil de aprender y utilizar. Es interpretado y escrito dinámicamente, lo que le proporciona la capacidad de realizar prototipos rápidamente y probar las secuencias de comandos en un entorno interactivo al mismo tiempo que es suficientemente potente para admitir la escritura de aplicaciones grandes (Esri, 2016).

### 3.2.2 Datos cartográficos de partida

Para el desarrollo del presente trabajo se ha utilizado distinta información cartográfica recopilada a través de diferentes fuentes, como son: Basarte SL, Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra (IDENA) e Instituto Geográfico Nacional (IGN). Seguidamente se nombran los archivos que se han utilizado para la elaboración de este modelo:

- ✓ Las ortofotos de las zonas de estudio, se han descargadas del IGN, de los mosaicos de ortofotos del PNAO (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) más recientes disponibles, en formato ECW, sistema geodésico de referencia ETRS89 y proyección UTM en el huso 30N, con a una resolución de 1:5.000.  
Para completar las dos zonas de estudio se han descargado las siguientes hojas: en el caso de Imoz, las hojas con nº 0114 y 0115; Para la zona de Roncal, las hojas con nº 0143 y 0117.
- ✓ Los MDT a una resolución de 5x5m se han obtenido de la base de datos de Basarte. Al igual que las capas vectoriales de pistas, masas forestales y los límites de los municipios de Navarra.

### 3.3 Método de análisis

Para el análisis del estudio se han tenido en cuenta diferentes parámetros y limitaciones de acuerdo con cada método de desembosque, los cuales se han definido conjuntamente con la empresa Basarte SL y Arpana Formación Forestal. Estos parámetros técnicos se han escogido por un lado, de acuerdo con las prácticas que se encuentran principalmente en los montes navarros, y por otro lado, teniendo en cuenta la seguridad en los trabajos forestales.

Por lo que teniendo en cuenta la seguridad en los trabajos, se han excluido todas las zonas con pendiente > 110%, donde la tala manual no es posible.

#### 3.3.1 Maquinaria de desembosque

Como ya se mencionado anteriormente, se entiende por desembosque o saca el proceso de transporte de árboles o trozas desde la zona de corta hasta el punto de acopio o cargadero.

Son muchos los aspectos que influyen en esta labor, pero los dos aspectos o parámetros más importantes son la pendiente del terreno y las infraestructuras o red de pistas existentes.

A continuación se detalla la maquinaria forestal y los parámetros escogidos para el modelo de accesibilidad:

#### ❖ Skidder

Los skidders se caracterizan por realizar dos tipos de trabajos según el tipo de madera a extraer. Cuando la madera es larga, realiza la saca por arrastre o semiarrastre sobre el monte. La más frecuente es que el extremo más grueso de la troza se suspenda sobre el tractor, mientras que el otro extremo se desplaza sobre el suelo (figura 6).



**Figura 6.** Skidder realizando la saca con cable, arrastrando madera larga  
(Fuente: [www.smithtractorco.com](http://www.smithtractorco.com)).

Cuando la madera es corta (menor a 2,5 m de longitud), el transporte se realiza en pilas de 2 a 4 estéreos totalmente suspendida (figura 7).



**Figura 7.** Skidder realizando la saca de las trozas de manera suspendida.  
(Fuente: [www.tigercat.com](http://www.tigercat.com)).

En caso de tener pendientes muy fuertes o terrenos de difícil acceso, el desembosque lo realiza con cable desde pista. El skidder se estaciona en la pista y desde allí echa el cable hacia los fustes o madera larga y un ayudante los va enganchando. Después el skidder tirará de ellos hasta la pista, para posteriormente realizar el desembosque.



En el modelo se han incorporado parámetros teniendo en cuenta tres situaciones posibles. En primer lugar tenemos las zonas de baja pendiente (0-30%) y accesibles, donde el skidder puede trabajar directamente en la zona a explotar. En segundo lugar, las zonas con mayor pendiente (30-110%) y accesibles, se trabajara desde pista con el cabrestante, con una longitud diferente según la orientación del terreno, 30 metros aguas arriba (sentido ascendente) y 90 metros aguas abajo (sentido descendente). Y por último las zonas con pendientes >110%, directamente catalogadas como zonas no explotables.

A continuación se detallan los parámetros utilizados en el modelo para el skidder, en forma de tabla:

**Tabla 5.** Resumen de los parámetros utilizados en el modelo Python para el skidder.

<b>Pendiente (%)</b>	<b>Zonas definidas en el modelo para el skidder</b>
<b>0-30</b>	Zonas transitables por el skidder
<b>30-110</b>	Zonas de desembosque desde pista
<b>&gt; 110</b>	Zonas no explotables

### ❖ Procesadora y autocargador

Las procesadoras portan una grúa hidráulica dotada de un cabezal procesador multifunción, que supone un auténtico robot forestal: mediante una hoja de motosierra corta el árbol, procediendo a continuación a su desramado, descortezado y troceado en trozas predeterminadas, y al desplazamiento de la madera para disponerla en montones perfectamente seleccionados por tipos de madera.

El cabezal de la procesadora es un implemento pesado (figura 8). Si a ello añadimos que la longitud del brazo oscila entre 6 y 14 m aproximadamente se concluye en que es una máquina con un elevado riesgo de vuelco cuando no trabaja en llano. Se estima que por curvas de nivel este tipo de máquinas no debe superar una pendiente del 30-40% (Dato aportado por la empresa Arpana Formación Forestal, según su experiencia).



**Figura 8.** Procesadora ejecutando los diferentes trabajos realizados para el aprovechamiento forestal (Fuente: [www.deere.no](http://www.deere.no)).

Estas máquinas se utilizan sobre todo en terrenos de fácil accesibilidad y pendientes menores del 35%. Normalmente son máquinas que trabajan bien en coníferas de no excesivo tamaño.

Su procedimiento operativo consiste en el posicionamiento estable de la máquina a una distancia tal que permita alcanzar el fuste del árbol en su base por medio de las garras del cabezal situado en el extremo de la grúa.

Tras el cierre de las garras de sujeción alrededor del árbol, el elemento de corte actúa y apea el árbol. Cortado el árbol, la máquina lo levanta ligeramente con la grúa y lo voltea, iniciándose a continuación el desramado, a la vez que desplaza todo el árbol, para una vez seleccionadas las medidas, tronzarlo; y por último, deposita en el suelo las trozas en el lugar que se considere adecuado para la recogida posterior por el autocargador, seleccionándolas en el caso en que elaboren productos distintos.

Una vez apeados los árboles y apilados, es el turno del autocargador. El autocargador presenta las mismas limitaciones que la procesadora, es más, el autocargador es el que limita el trabajo de la procesadora, ya que, si el autocargador no puede acceder a la zona de trabajo de la procesadora, no tendrá sentido explotar con ésta.

Los autocargadores también disponen de una grúa hidráulica que recoge las trozas apiladas y las va depositando sobre su caja (figura 9). Tras su llenado, se desplaza hasta el cargadero donde procede a descargar la madera.



**Figura 9.** Autocargador cargando las trozas en la caja con la grúa hidráulica  
(Fuente: [www.guifor.com](http://www.guifor.com)).

A continuación se detallan los parámetros utilizados en el modelo para la procesadora y el autocargador, en forma de tabla:

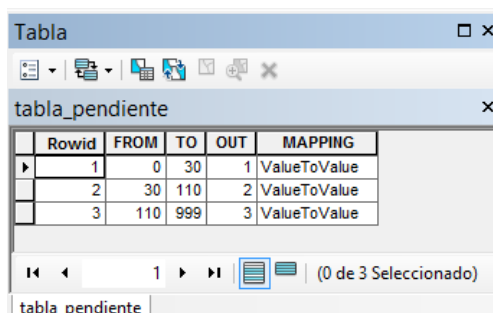
**Tabla 6.** Resumen de los parámetros utilizados en el modelo Python para la procesadora y el autocargador.

Pendiente (%)	Zonas definidas en el modelo para la procesadora y autocargador
0-35	Zonas explotables y accesibles
> 35	Zonas no explotables

### 3.3.2 Datos de entrada del modelo

El modelo de accesibilidad necesita diferentes capas de información geográficas e información de partida. Los cuatro datos que son necesarios para su funcionamiento son:

- **Modelo Digital del Terreno (MDT).** Estos datos son de tipo ráster. Se presenta en la forma de una rejilla cuadrada en donde cada celda, llamado pixel, contiene el valor de la altitud. El tamaño del píxel se denomina resolución. Para este modelo, es necesario un MDT de 5x5m de resolución.
- **La red de pistas (Red de pistas y caminos forestales).** Esta capa es un vector poli-línea. Esta capa posee las vías forestales y/o las calles de desembosque. En resumen, debe contener todas las pistas o vías accesibles a la maquinaria forestal.
- **La superficie forestal.** Esta capa es un vector de polígonos. Debe contener una columna llamada **GRUPO**, con la clasificación de las masas forestales en dos grupos: frondosas y coníferas. Permite que el modelo identifique las áreas forestales a explotar.
- **Tabla de pendientes (TablaINFO).** Es necesario que el usuario cree una tabla en ArcGIS con los valores de las pendientes que quiera utilizar en el modelo para las distintas máquinas (figura 10).



Rowid	FROM	TO	OUT	MAPPING
1	0	30	1	ValueToValue
2	30	110	2	ValueToValue
3	110	999	3	ValueToValue

**Figura 10.** Ejemplo de una tablaINFO creada en ArcGIS, con los valores de la pendiente para el modelo del skidder (0-30% = 1, 30-110%= 2 y 110-999%= 3).

### 3.3.3 Creación de las Geodatabases e instalación de la caja de herramientas

La geodatabase es una estructura de base de datos o archivo que se utiliza principalmente para almacenar, consultar y manipular los datos espaciales. Así pues, es un almacén de geometría, un sistema de referencia espacial, atributos y reglas de comportamiento para los datos. Este es un formato original de ArcGIS (Esri, 2016).

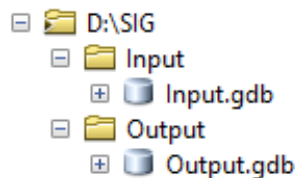
En este caso, se utilizará la geodatabase de archivo, ya que, es un formato de archivo de desktop mejorado con muchos beneficios y no tiene límite de capacidad para las Bases de Datos.

Para la creación de las geodatabases de entrada y salida del modelo, se acude al asistente de ArcCatalog. A continuación se especifica la estructura de las carpetas necesarias para que el modelo funcione:

1. El usuario debe de crear las carpetas de trabajo para el modelo en el disco duro del ordenador. El esquema será crear una carpeta general (por ejemplo SIG), y dentro de ésta irán las dos carpetas secundarias. Una de ellas se nombrará como **Input** (Entrada), y la otra como **Output** (Salida).
  - **D:\SIG:**
    - **Input**
    - **Output**

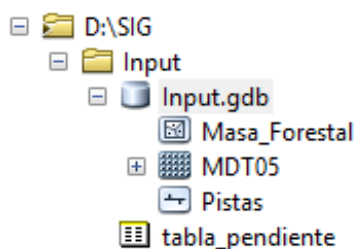


2. Una vez creadas las carpetas de trabajo, se accederá al asistente ArcCatalog y desde ahí se crearán las geodatabases de entrada y salida, en sus correspondientes carpetas de trabajo. Una vez creamos las geodatabases en ArcCatalog, se establece la estructura del elemento de base de datos geográficos, pero no se añade ningún dato a la base de datos geográficos, sólo el esquema (figura 11). De modo que el esquema está vacío.



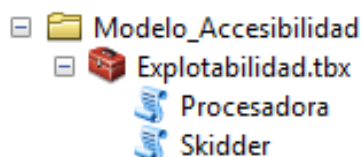
**Figura 11.** Esquema de las carpetas de trabajo y de las geodatabases creadas por el usuario antes de ejecutar el script.

3. Después de crear el esquema especificado en el punto 2, se procederá a la carga de los datos de entrada necesarios para el modelo desde ArcCatalog (figura 12) en la geodatabase de entrada llamada Input, que se guardarán con los siguientes nombres:
  - ✓ Modelo Digital del Terreno → **MDT05**
  - ✓ La red de pistas → **Pistas**
  - ✓ La superficie forestal → **Masa\_Forestal**
  - ✓ Tabla de pendientes → **tabla\_pendiente**



**Figura 12.** Esquema de los datos de entrada en la geodatabase Input.

4. Una vez tenemos las geodatabases creadas y cargados los datos de entrada necesarios para que el modelo funcione, se importará la caja de herramientas (formato de ArcMap para éstas: Caja\_de\_herramientas.tbx) creada en este trabajo (figura 13), que contiene las secuencias de comandos para el caso del skidder, y para la procesadora y el autocargador. Esta operación al igual que las anteriores, se realizara desde el asistente de ArcCatalog.



**Figura 13.** Caja de herramientas creada, con las secuencias de comandos para el skidder y la procesadora y el autocargador, del modelo de accesibilidad.

### 3.3.4 Creación del modelo Python

El modelo creado en este trabajo utiliza el paquete ArcPy. Éste es un paquete de sitio Python que proporciona una manera útil y productiva de realizar análisis de datos geográficos, conversión de datos, administración de datos y automatización de mapas con Python.

La ventaja adicional de utilizar ArcPy es que Python es un lenguaje de programación de uso general. Es un lenguaje interpretado con asignación dinámica de tipos, adecuado para el trabajo interactivo y la creación rápida de prototipos en programas únicos conocidos como secuencias de comandos, además de ofrecer potencia suficiente como permitir la escritura de aplicaciones grandes. Las aplicaciones ArcGIS escritas con ArcPy se benefician del desarrollo de módulos adicionales en numerosos nichos de Python por parte de profesionales del SIG y programadores de muchas disciplinas diferentes (Esri, 2016).

A la hora de crear los diferentes scripts en Python, al inicio de este se realizan varios pasos comunes a los dos modelos. Las instrucciones de la secuencia de comandos comunes a los dos modelos son las siguientes:

#### ❖ Inicialización del script Python

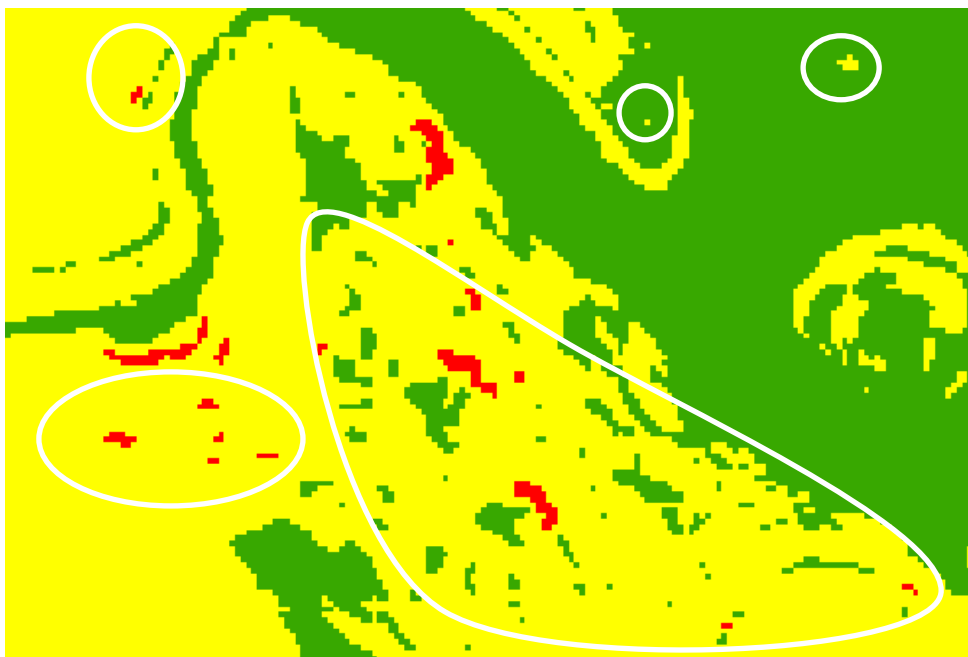
Para poder poner en marcha el script, lo primero que se hace es importar los módulos necesarios para el funcionamiento de éste. Un módulo es un archivo de Python que generalmente incluye funciones y clases. Los módulos importados son:

1. Los módulos principales de ArcPy:
  - Import **arcpy** → Una vez que se importa ArcPy, puedes ejecutar todas las herramientas de geoprocésamiento que se encuentran en las cajas de herramientas estándar instaladas con ArcGIS.
  - Import **os** → Este módulo nos provee fácil acceso a la mayoría de las herramientas fundamentales del sistema operativo.
  - Import **sys** → Éste nos permite ingresar información por parte del usuario.
2. Añadir el código para poder sobrescribir las salidas de las operaciones de geoprocésamiento, una vez se ejecuta el modelo:
  - ***arcpy.env.overwriteOutput= True***

Una vez tenemos los módulos importados, es necesario crear los parámetros de entrada que debe introducir el usuario una vez ejecuta el script del modelo (figura 15). Estos parámetros se han creado desde las propiedades de ArcMap, ya que, no es posible hacerlo desde la secuencia de comandos.

Los dos primeros parámetros que se muestran en la figura 15, estas destinados a homogeneizar la pendiente y se utilizan como dos valores de dos herramientas específicas de la secuencia de comandos. Estas herramientas depuran la capa de pendientes para el correcto funcionamiento del modelo. Esta depuración se debe a que la capa de pendientes presenta polígonos extensos con un rango de pendientes, y éstos contienen muchos píxeles con una superficie muy pequeña de otro rango de pendientes (en la figura 14 se muestran ejemplos de estos píxeles con superficies muy pequeñas, redondeadas de color blanco). Esto se debe a la heterogeneidad e irregularidad del terreno.

Por lo tanto, para el correcto funcionamiento e identificación realizada por el modelo, se ha optado por esta depuración de la capa de pendientes.



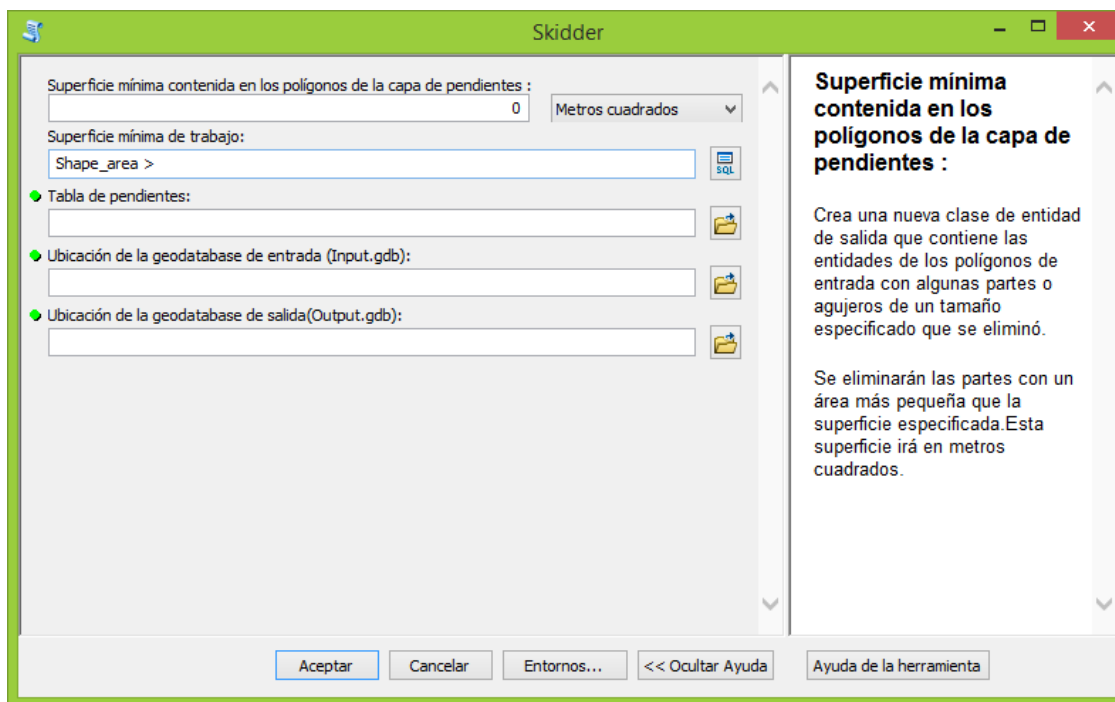
**Figura 14.** Representación gráfica de la capa de pendientes reclasificada.

En este caso, los parámetros incluidos son:

- **Superficie mínima contenida en los polígonos de la capa de pendientes** (en metros cuadrados): El valor de este parámetro introducido por el usuario, se utiliza para homogeneizar la pendiente calculada desde el MDT05, mencionada previamente.

Este valor se guarda en una variable, que más tarde se utiliza para la herramienta llamada *“Eliminar parte del polígono”*. Que crea una nueva clase de entidad de salida que contiene las entidades de los polígonos de entrada con algunas partes o agujeros del tamaño especificado que se eliminará. Los polígonos contenidos de la entidad de entrada con superficie menor o igual a la fijada por el usuario, se eliminarán.

- **Superficie mínima de trabajo** (en metros cuadrados): El parámetro cuenta con un valor predeterminado (**Shape\_area >**) y selecciona las entidades de la capa de entrada con áreas mayores a la superficie (en metros cuadrados) especificada por el usuario. Al igual que el parámetro anterior, este valor se guarda en otra variable, donde más tarde se utilizará en la herramienta *“Seleccionar”*. Esta herramienta también forma parte de la fase de homogeneización de la pendiente, seleccionando así los polígonos con un área superior a la especificada por el usuario.
- **Tabla de pendientes**: En este parámetro se especifica la ubicación de la tabla de pendientes anteriormente creada por el usuario, y cargada en los datos de entrada del modelo.
- **Ubicación de la geodatabase de entrada (Input.gdb)**: El usuario debe seleccionar la ubicación de la geodatabase de entrada creada anteriormente en ArcCatalog: Input.gdb.
- **Ubicación de la geodatabase de salida (Output.gdb)**: El usuario debe seleccionar la ubicación de la geodatabase de salida creada anteriormente en ArcCatalog: Output.gdb.



**Figura 15.** Parámetros de entrada del modelo, una vez se ejecuta el script.

Estos parámetros introducidos por el usuario, son guardados en diferentes variables definidas en la secuencia de comandos. Una vez se han almacenado los parámetros de entrada en las diferentes variables, se define la cartografía de entrada del modelo, para luego poder utilizarla en las herramientas especificadas en el script.

### 3.3.4.1 Caso del skidder

A continuación se detallan los pasos más importantes que se han elaborado y ejecutado en la secuencia de comandos del skidder, éstos se describen por bloques:

#### ❖ Creación de la capa de pendientes

Una vez se ejecuta el modelo, el primer cálculo para realizar todos los pasos posteriores, es el cálculo de la pendiente. Para el cálculo de ésta, se han realizado los siguientes pasos:

1. Cálculo de la pendiente en porcentaje (%), a partir del ráster del MDT (5x5m) previamente cargado en la geodatabase de entrada.
2. Una vez calculada la pendiente de la zona de estudio, se reclasifica en base a los rangos definidos en la tabla de pendientes introducida en los parámetros de entrada por el usuario. Ésta variara según la maquinaria utilizada para el desembosque. A continuación se muestran el ejemplo de la tabla utilizada en este modelo en el caso del skidder:

**Tabla 7.** Ejemplo de los valores de la tabla de pendientes introducida para el modelo del skidder.

Rango de la pendiente (%)	Valor de la reclasificación
0-30	1
30-110	2
110-9.999	3



3. Obtenida la capa de pendientes reclasificada de las diferentes zonas definidas por el modelo, se procede a homogeneizar la pendiente. Este paso es clave, para el correcto funcionamiento e identificación de las zonas anteriormente delimitadas.

Esta homogeneización, se base en obtener polígonos con las diferentes valores de la pendiente (1, 2 o 3) mayores a una superficie mínima de trabajo en metros cuadrados predeterminada en los parámetros de entrada del modelo. En este caso, se tendrán en cuenta los polígonos de las pendientes que presenten una superficie mayor a 5.000 m<sup>2</sup>. Esta superficie se ha fijado conjuntamente con la empresa, ya que se ha considerado un área razonable para llevar a cabo un aprovechamiento de estas características.

En definitiva, una vez ejecutados los pasos anteriores se obtienes las siguientes zonas:

- **Zonas1** → Los polígonos que presentan una pendiente entre 0 y 30%.
- **Zonas2** → Los polígonos con una pendiente de entre el 30-110%.
- **Zonas3** → Los polígonos con pendiente > 110%.

#### ❖ Creación de las zonas transitables y accesibles

Las Zonas1 definidas en el modelo, son aquellas zonas donde el skidder puede transitar por ellas sin limitación de la pendiente (0-30%). Para obtener las Zonas1 accesibles, se realizan diferentes pasos:

1. Identificar las Zonas1 que están atravesadas por una pista, ya que, éstas serán las zonas transitables y accesibles para el skidder.
2. Cruzar las Zonas1 accesibles con la capa de Masa\_Forestal, para obtener así sólo las zonas que realmente se van a explotar (zonas arboladas).

El resultado obtenido después de esté bloque de instrucciones, son difrentes capas:

- ✓ **Zonas1** → Polígonos con superficie mayor a 5.000 m<sup>2</sup>, y con una pendiente entre 0-30% (Zonas transitables por el skidder).
- ✓ **Zonas1\_Pistas** → Polígonos de las Zonas1 con accesibilidad por pistas.
- ✓ **Zonas1\_AccesMF** → Polígonos donde se encuentran las superficies arboladas a explotar, siendo éstas transitables y accesibles para el skidder.

#### ❖ Creación de las zonas de desembosque desde pista

La Zonas2 definidas son aquellas que debido a una mayor pendiente (30-110%), el skidder sólo trabaja desde pista con el cabrestante. Los parámetros utilizados para el desembosque desde pista, varían la longitud del cable según si la saca se realiza aguas arriba o aguas abajo. Para la obtención de estas zonas, se llevan a cabo los siguientes pasos:

1. Identificar los polígonos de las Zonas2 que se intersecan con la capa de pistas. Están serán las Zonas2 que tengan accesibilidad por pista (Capa: **Zonas2\_Pistas**).
2. Obtener las diferentes zonas de trabajo que se van a realizar desde pista, en base a la orografía del terreno. Para la identificación de éstas, el primer lugar se ha rasterizado la capa de pistas, obteniendo así un ráster de pistas con diferentes valores (Capa: **Pistas\_Raster**).

A continuación, con la calculadora ráster, se han unificado todos los valores. En concreto con el valor 1. Para conseguir así un ráster con el conjunto de celdas de origen con valores válidos (Capa: **Pistas\_v1**).

3. Asignar las diferentes longitudes especificadas para el cabrestante en función de la orografía del terreno. Identificar las zonas que son aguas arriba y aguas abajo.

Éstas se calculan con la herramienta llamada “*Asignación de distancia de ruta*”. Ésta calcula la fuente más cercana a cada celda en función del coste acumulativo inferior sobre una superficie de coste a la vez que se tiene en cuenta la distancia de la superficie y los factores de coste vertical y horizontal. Los datos de entrada incorporados son:

- **Ráster de entrada** → Esto es un dataset ráster de origen que identifica las celdas o las ubicaciones para las cuales se calcula la distancia de menor coste acumulado de cada ubicación de celda de salida. En el modelo se selecciona la capa de Pistas\_v1.
- **Ráster de asignación de salida** → El ráster de asignación de la distancia de ruta de salida.

Este ráster identifica la zona de cada ubicación de origen (celda) que podría alcanzarse con el menor coste acumulativo, teniendo en cuenta la distancia de la superficie y los factores de coste horizontal y vertical. En el modelo, únicamente se ha tenido en cuenta el factor de coste vertical.

- **Distancia máxima** → Define el umbral que los valores de coste acumulado no pueden superar. En el modelo se definen dos distancias:
  - **Aguas arriba = 30 metros.**
  - **Aguas abajo = 90 metros.**
- **Parámetros del factor vertical:**

- **Ráster vertical de entrada** → Ráster que define los valores z de cada ubicación de celda. Los valores se utilizan para calcular la pendiente utilizada para identificar el factor vertical incurrido al realizar un movimiento de una celda a otra.

En este caso se ha definido como ráster vertical de entrada el MDT correspondiente a la zona de estudio.

- **Factor vertical** → Define la relación entre el factor de coste vertical y el ángulo de movimiento relativo vertical (VRMA).

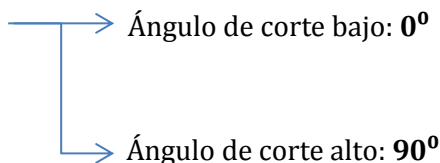
El factor vertical (VF) es el que define la dificultad vertical con la que se encuentra al realizar un movimiento desde una celda a la siguiente; y VRMA, define el ángulo de movimiento relativo vertical, que identifica el ángulo de pendiente entre la FROM o celda de origen y la celda TO o celda de destino.

En este caso se ha optado por el VF de tipo binario. Éste especifica que si el VRMA es mayor que el al ángulo de corte bajo y menor que el ángulo de corte alto, el VF está establecido como el valor asociado con el factor cero; de lo contrario, es infinito.

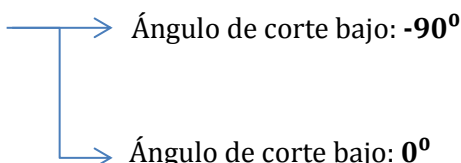
Para el cálculo de los dos posibles casos (aguas arriba y aguas abajo), se han fijado dos ángulos de corte distintos. El ángulo de corte es el ángulo VRMA por debajo o por encima del cual el VF se establecerá en infinito.

Las dos combinaciones posibles de los ángulos de corte fijados son:

- **Aguas arriba**



- **Aguas abajo**



4. Cruzar la capa con las zonas identificadas en paso anterior (Capa: Zonas\_Pistas), con las Zonas2 que tienen accesibilidad por pista. Así se obtienen las Zonas2 accesibles, donde se realizará el desembosque desde pista.
5. Por último se intersectan las Zonas2 accesibles con las masas forestales a explotar en la zona de estudio. Por lo que se asignarán las zonas donde se trabajará desde pista.

El resumen de capas obtenidas después de este bloque de instrucciones son:

- ✓ **Zonas2** → Polígonos con superficie mayor a 5.000 m<sup>2</sup>, y con una pendiente entre 30-110% (Zonas de desembosque desde pista).
- ✓ **Zonas2\_Pistas** → Polígonos de las Zonas2 con acceso por pista.
- ✓ **Zonas\_Pistas** → Capa con la fusión de las dos zonas identificadas como aguas arriba y aguas abajo.
- ✓ **Zonas2\_Accesibles** → Las Zonas2 accesibles, con los tramos catalogados como aguas arriba y aguas abajo.
- ✓ **Zonas2\_AccesMF** → Polígonos donde se encuentran las superficies forestales a desemboscar, trabajando desde pista con el cabrestante.

❖ **Creación de las zonas de desembosque con cable desde el límite de las zonas transitables y accesibles**

Las zonas de desembosque con cable desde el límite de las zonas transitables y accesibles por el skidder (Zonas1\_AccesMF), se definen como aquellas zonas que desde el margen de las Zonas1\_AccesMF puede desemboscar con el cabrestante en los terrenos que tengan pendientes entre el 30-110%, teniendo en cuenta las mismas limitaciones o factores de las zonas de desembosque desde pista anteriormente descritas.

Las instrucciones que se ejecutan en este bloque, son las mismas que en el bloque anterior, pero utilizando la capa de **Zonas1\_AccesMF** como capa de partida.

Una vez se ejecutan los comandos, se obtienen las siguientes capas de salida:

- ✓ **Zonas1\_Lineas** → Los polígonos de las Zonas1\_AccesMF se transforman a líneas.
- ✓ **Zonas1\_Raster** → Las polilíneas de las Zonas1\_Lineas una vez convertidas a ráster.
- ✓ **Zonas1\_v1** → Capa Zonas1\_Raster con todas las celdas con el valor 1.
- ✓ **Aguas\_ArribaZ1** → Las zonas identificadas como aguas arriba desde el límite de las zonas transitables.
- ✓ **Aguas\_AbajoZ1** → Las zonas identificadas como aguas abajo desde el límite de las zonas transitables.

- ✓ **Zonas1\_Cable** → La fusión de las zonas donde se trabaja aguas arriba y aguas debajo desde el límite de las Zonas1\_AccesMF.
- ✓ **Zonas2\_Cable** → Intersectar las Zonas1\_Cable sólo con aquellos terrenos que lindan con las Zonas1 que tengan pendiente entre el 30-110% (Zonas2).

#### ❖ **Creación de las zonas no explotables**

Las zonas no explotables, sencillamente son aquellas que contienen una pendiente >110%. Éstas directamente se excluyen del aprovechamiento, ya que teniendo en cuenta la seguridad en los trabajos forestales, son áreas donde la tala manual no es posible. Con lo cual, para obtener éstas áreas, simplemente se crea una capa con los polígonos que contienen pendientes mayores al 110%. En este caso están catalogadas en la capa reclasificada de pendientes con el valor 3.

Este bloque lo compone una sola instrucción, que lo que hace es seleccionar los polígonos con pendientes superiores a 110%, creando una capa de salida llamada **Zonas3**.

#### ❖ **Creación de las zonas explotables, pero no accesibles**

Una vez se han obtenido todas las zonas de interés, sólo queda identificar las zonas explotables pero que no son accesibles por no estar comunicadas o no tener acceso por falta de infraestructuras.

Estas zonas son realmente interesantes desde el punto de vista de la empresa, ya que a la hora de planificar y gestionar los aprovechamientos que se llevarán a cabo, éstas van a ser las que marquen la necesidad o no de la apertura o creación de nuevas infraestructuras. Un buen diseño y construcción de pistas es clave a la hora de que en el futuro sean rentables y útiles, ya que la creación de éstas lleva consigo un alto coste.

El modelo identifica estas zonas, ejecutando los siguientes pasos:

1. Obtener los polígonos que por la pendiente son transitables por el skidder (Zonas1) y que no estén atravesadas por una pista (Capa: **Zonas1\_NoAccesibles**).
2. Lo mismo que en el paso anterior pero con los polígonos catalogados como zonas de desembosque por pista, que no tienen acceso (Capa: **Zonas2\_NoAccesibles**).
3. Fusionar todas las zonas obtenidas en los dos pasos anteriores (Capa: **Zonas\_NoAccesibles**), y cruzar esa capa con la capa de Masa\_Forestal, para sacar así las zonas explotables pero no accesibles (Capa: **Explotable\_NoAcces**).

### 3.3.4.2 Caso de la procesadora y el autocargador

El modelo del conjunto de la procesadora y el autocargador es similar al del skidder, salvo por la distancia del cabrestante que no tiene necesidad de ser calculada para estas máquinas. Para este modelo la capa de Masa\_Forestal es imprescindible que contenga una columna con un campo llamado “GRUPO”, y el valor de esta columna contendrá dos opciones, como son “frondosas o coníferas”. Como ya se ha mencionado anteriormente, este modelo se ha programado únicamente para trabajar con las masas de coníferas.

Los comandos para este modelo se detallan a continuación:

1. Cálculo de la pendiente en porcentaje (%), a partir del ráster del MDT (5x5m) previamente cargado en la geodatabase de entrada.
2. Una vez calculada la pendiente de la zona de estudio, se reclasifica en base a los rangos definidos en la tabla de pendientes introducida en los parámetros de entrada por el usuario. A continuación se muestra los valores de reclasificación utilizados para este modelo:

**Tabla 8.** Ejemplo de los valores de la tabla de pendientes introducida para el modelo de la procesadora y el autocargador.

Rango de la pendiente (%)	Valor de la reclasificación
0-35	1
> 35	2

3. Seleccionar los polígonos que contienen una pendiente entre el 0-35%. Éstos serán las zonas explotables por la procesadora y a la vez aptas para el autocargador.
4. Intersectar las zonas explotables con la capa de pistas, para obtener así las zonas explotables y accesibles.
5. Seleccionar de la capa de Masa\_Forestal, el grupo llamado “coníferas”.
6. Cruzar las zonas explotables y accesibles con la capa que contienen el grupo de coníferas. La salida de éste, serán los polígonos explotables y accesibles que sean masas de coníferas.
7. Seleccionar las zonas explotables pero no accesibles e intersectarla con la capa de coníferas para conseguir sólo las zonas que son arboladas.
8. Por última seleccionar los polígonos con pendientes mayores al 35% y catalogarlas como zonas no explotables.

A continuación se nombran las capas de salida creadas por este modelo:

- ✓ **Zonas1** (Paso 3).
- ✓ **Zonas1\_Pistas** (Paso 4).
- ✓ **Coniferas** (Paso 5).
- ✓ **Zonas\_Explotables** (Paso 6).
- ✓ **Zonas\_NoAccesibles** (Paso 7).
- ✓ **Zonas\_ExploNoAcces**(Paso 7).
- ✓ **Zonas\_NoExplotables** (Paso 7).

### 3.3.5 Cartografía

La cartografía confeccionada en este proyecto, se ha creado a través del diseño de página o *Layout view* que contiene ArcMap, ya que, tiene una serie de herramientas dirigidas a la automatización de las tareas de edición de cartografía.

La edición gráfica de los mapas está sujeta a una serie de normas UNE, las más relevantes se nombran seguidamente:

- ✓ **UNE -EN ISO 9431:1990. Dibujos en construcción. Espacio para dibujo y texto, cuadros de roturación en formatos de dibujo.**
- ✓ **UNE -ES ISO 7200:2004. Campos de datos en bloque de títulos y en cabeceras de documentos.**
- ✓ **UNE -EN ISO 5457:1999. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo.**

Los mapas temáticos elaborados con la zonificación de las diferentes maquinarias utilizadas en este trabajo se adjuntan en los anexos 5, 6, 7.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se describen los resultados obtenidos en las dos zonas de estudio, una vez se han ejecutado los modelos de accesibilidad tanto para el skidder, como para la procesadora y el autocargador.

En el caso de Imotz, el estudio de accesibilidad se ha realizado a pequeña escala únicamente teniendo en cuenta la superficie forestal presente en él, ya que éste presenta una superficie total de 4.239,53 hectáreas y de esa superficie el 57% tiene una pendiente de menos del 30%, lo cual facilitará el acceso de la maquinaria forestal y también la visualización de las diferentes zonas obtenidas en el modelo.

Por otra parte, el estudio de la accesibilidad del valle de Erronkari se ha realizado a escala de municipio teniendo en cuenta no sólo la superficie forestal, si no todo el territorio. Ya que en estas zonas el aprovechamiento forestal mecanizado está muy limitado por las condiciones del terreno y la superficie es bastante grande, por lo que para mostrar mejor los resultados del modelo es más conveniente.

### 4.1 Modelo de accesibilidad de Imotz

#### 4.1.1 Accesibilidad del skidder

El municipio de Imotz presenta una superficie total de 4.239,53 hectáreas, las cuales 2.952,21 hectáreas son superficie arbolada, ésta se reparte entre masas de frondosas (2.753,33 hectáreas), coníferas (179,04 hectáreas) y mezcla de ambas (19,83 hectáreas).

Cabe destacar que este municipio cuenta con una amplia red viaria (174, 62 kilómetros), repartida de forma homogénea por todo el territorio. Lo que a priori facilitara la accesibilidad a los montes, y con ello la explotación mecanizada en el municipio.

La mayor parte del área de explotación se ha identificado como transitable y accesible para el skidder, y presenta una superficie total de 1.291,64 hectáreas (figura 16). La superficie de las zonas que se realizará el desembosque desde la pista con cable es de 739,98 hectáreas (figura 17). La mayoría se localizan en la parte suroeste del municipio, que como ya se ha comentado anteriormente coincide con las áreas que se caracterizan por tener una pendiente entre el 30-110%.

De toda la superficie arbolada 99,11 hectáreas son explotables por las características del relieve que presentan, pero no son accesibles debido a la falta de infraestructuras. Por último, cabe destacar que sólo 2,64 hectáreas se han catalogado como áreas no explotables a causa de la elevada pendiente que presentan (figura 18).

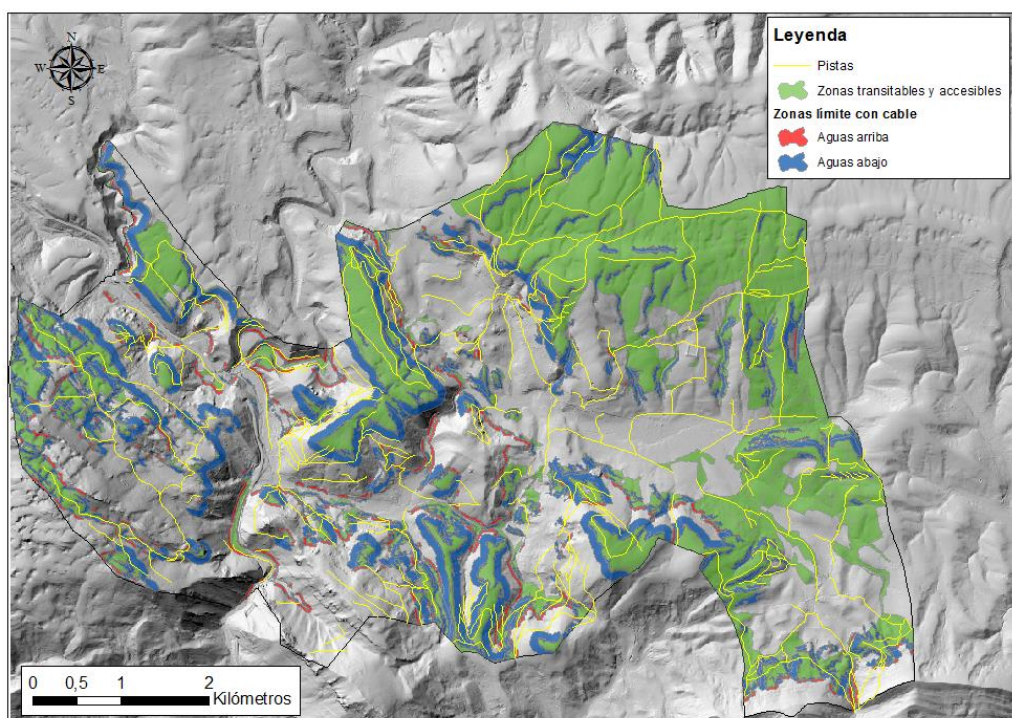
Seguidamente se muestra los resultados en valores de superficie obtenidos en el municipio de Imotz de las diferentes zonas creadas, una vez se ha ejecutado el modelo de accesibilidad del skidder:



**Tabla 9.** Superficies de las diferentes zonas obtenidas por el modelo de accesibilidad del skidder en Imotz.

<b>Zonas definidas en el modelo del skidder</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>%</b>
Zonas transitables y accesibles	1.291,64	40,34
Zonas límite con cable aguas arriba	366,43	11,44
Zonas límite con cable aguas abajo	702,18	21,93
Zonas de desembosque desde pistas :		
Aguas arriba	237,62	7,42
Aguas abajo	502,36	15,69
Zonas explotables no accesibles	99,11	3,10
Zonas no explotables	2,64	0,08
<b>Total</b>	<b>3.201,98</b>	

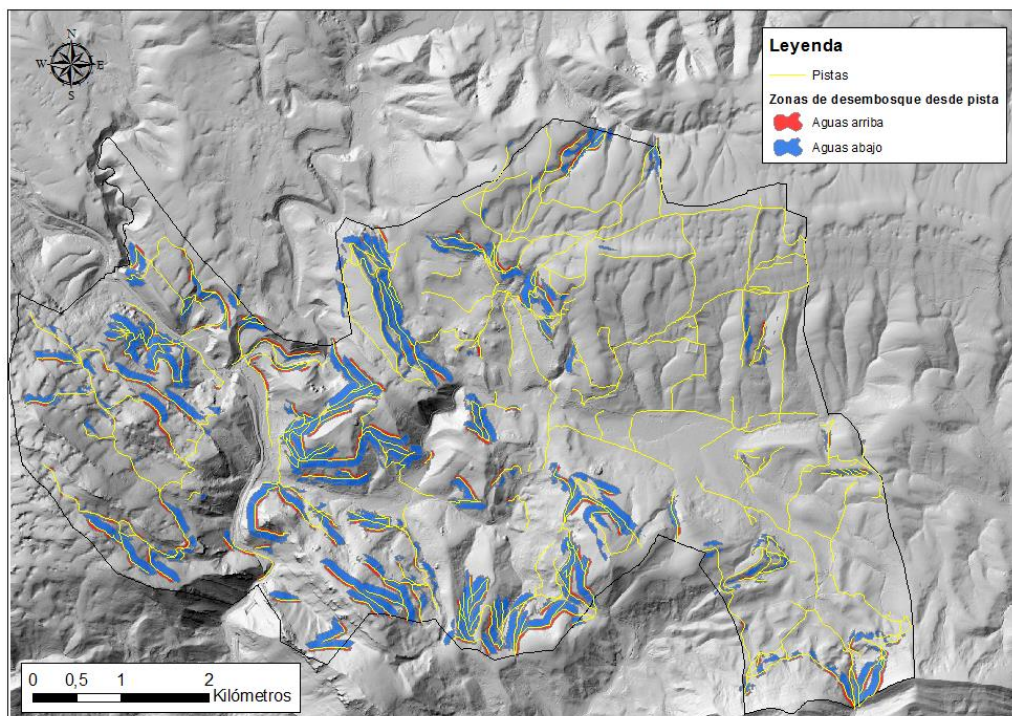
### Zonas transitables y accesibles



**Figura 16.** Zonas transitables y accesibles para el skidder en el municipio de Imotz, junto con las zonas desde el límite de éstas que se trabaja con cable.

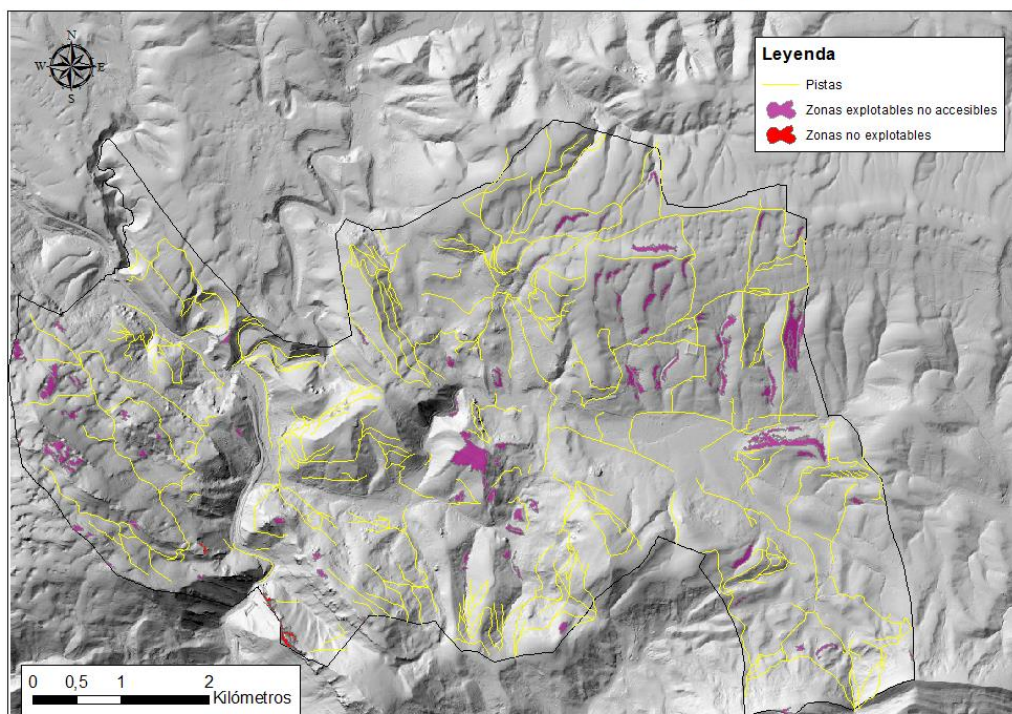


### Zonas de desembosque desde pista



**Figura 17.** Zonas del municipio de Imotz de desembosque desde pista, tematizadas por las diferentes longitudes del cable según la orografía (aguas arriba y aguas abajo).

### Zonas explotables no accesibles y no explotables



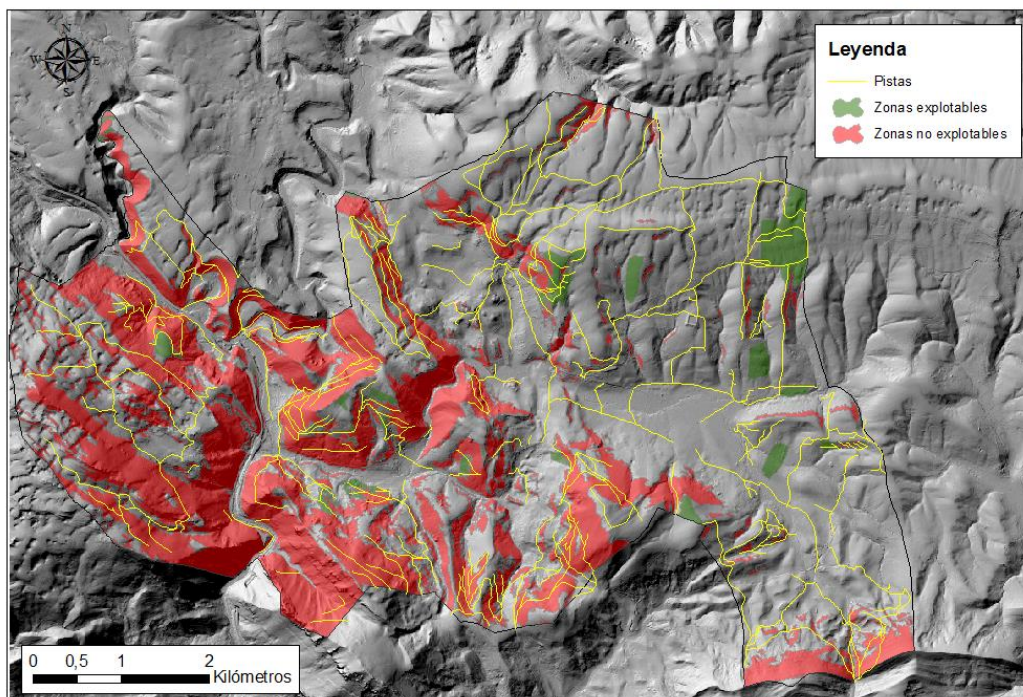
**Figura 18.** Zonas explotables pero no accesibles y zonas no explotables presentes en el municipio de Imotz.

#### 4.1.2 Accesibilidad de la procesadora y el autocargador

En el modelo de accesibilidad de la procesadora junto con el autocargador, cabe señalar que del total de la superficie del municipio de Imotz, 1.431,25 hectáreas son directamente no explotables por estas dos máquinas por las características del terreno, independientemente del tipo de masa que presenten.

Por otro lado, teniendo en cuenta la superficie total que está representada por coníferas (179,04 hectáreas), el área explotable es elevada, presentando una superficie de 118,13 hectáreas (figura 19).

#### Zonas de explotación de la procesadora y el autocargador



**Figura 19.** Zonas de accesibilidad a la explotación de la procesadora junto con el autocargador del municipio de Imotz.

### 4.2 Modelo de accesibilidad de Erronkari

#### 4.2.1 Accesibilidad del skidder

En el valle de Erronkari sólo se ha ejecutado el modelo de accesibilidad del skidder, ya que, el terreno es demasiado escarpado para el uso de la procesadora en la explotación forestal. Con lo cual, sólo se van a presentar los resultados obtenidos en el modelo del skidder.

La idea de aplicar el modelo de accesibilidad a toda la superficie es obtener tener una visión global de las posibilidades del territorio, tanto actuales como en el futuro, de cara a la planificación y la gestión.

Al contrario de Imotz, el valle de Erronkari no presenta una amplia red viaria, por lo que la accesibilidad a estos montes está muy limitada. No sólo por falta de infraestructuras, sino también por su relieve montañoso.

El área de Erronkari presenta una superficie total de 24.240,09 hectáreas, en la figura 21 se muestra el área transitable y accesible para el skidder. La mayoría de estas zonas se localizan en los fondos de valle y en las cumbres de las colinas y montes. La superficie total de éstas es de 1.325,48 hectáreas, las cuales 701,91 hectáreas son zonas improductivas (edificaciones, superficies forestales no

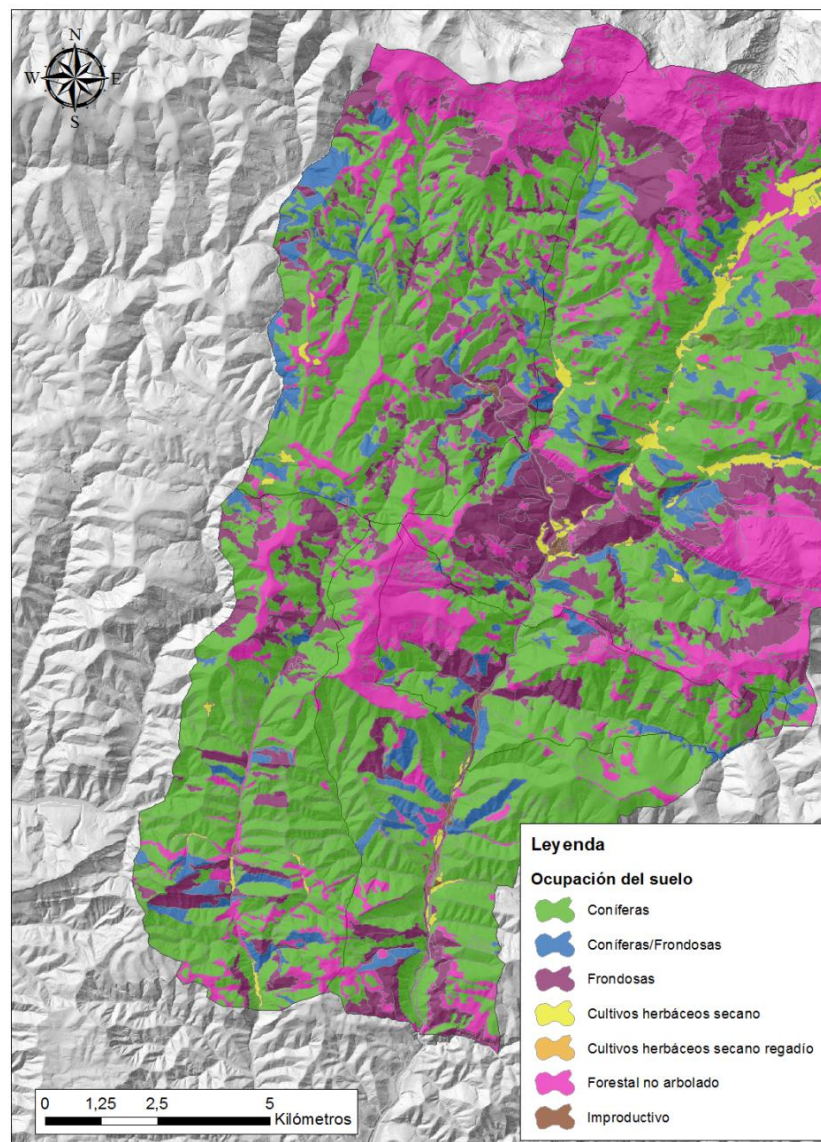


arboladas (zonas rocosas, praderas, pastizales, helechales, etc.) o cultivos herbáceos (figura 20) y su superficie se detalla en la tabla 10. En definitiva, el total de la superficie forestal arbolada transitable y accesible para el skidder son 623,57 hectáreas.

**Tabla 10.** Superficies de cada ocupación del suelo en las zonas transitables y accesibles del valle de Erronkari.

Ocupación del suelo de las zonas transitables y accesibles	Superficie (ha)	%
Coníferas	452,62	34,15
Coníferas/Frondosas	49,16	3,71
Frondosas	121,79	9,19
Cultivos herbáceos secano	238,76	18,01
Cultivos herbáceos secano regadío	0,82	0,06
Forestal no arbolado	401,95	30,32
Improductivo	60,38	4,56
<b>Total</b>	<b>1.325,48</b>	

**Ocupación del suelo en Erronkari**



**Figura 20.** Representación gráfica de la ocupación del suelo del valle de Erronkari.

Por otro lado, en este caso las zonas más interesantes de cara a la explotación forestal son las áreas donde el desembosque se realiza desde pista (figura 22), ya que, al presentar éste un relieve con las características ya mencionadas, será la forma de trabajo más utilizada para el aprovechamiento. Estas zonas representan una superficie de 2.994,83 hectáreas, siendo ésta el área de explotación con mayor superficie de entre las diferentes zonas identificadas por el modelo.

De cara a la planificación y la gestión, las áreas más interesantes de este valle son las zonas que podrían ser explotables por sus características pero que no son accesibles por falta de infraestructuras. Estas zonas representan una superficie de 1.715,11 hectáreas (figura 23).

Por último, cabe resaltar que de toda la superficie que presenta Erronkari, sólo 137,52 hectáreas son directamente no explotables, donde la tala manual no es posible. Esta superficie se concentra en las zonas de crestas del valle (figura 23).

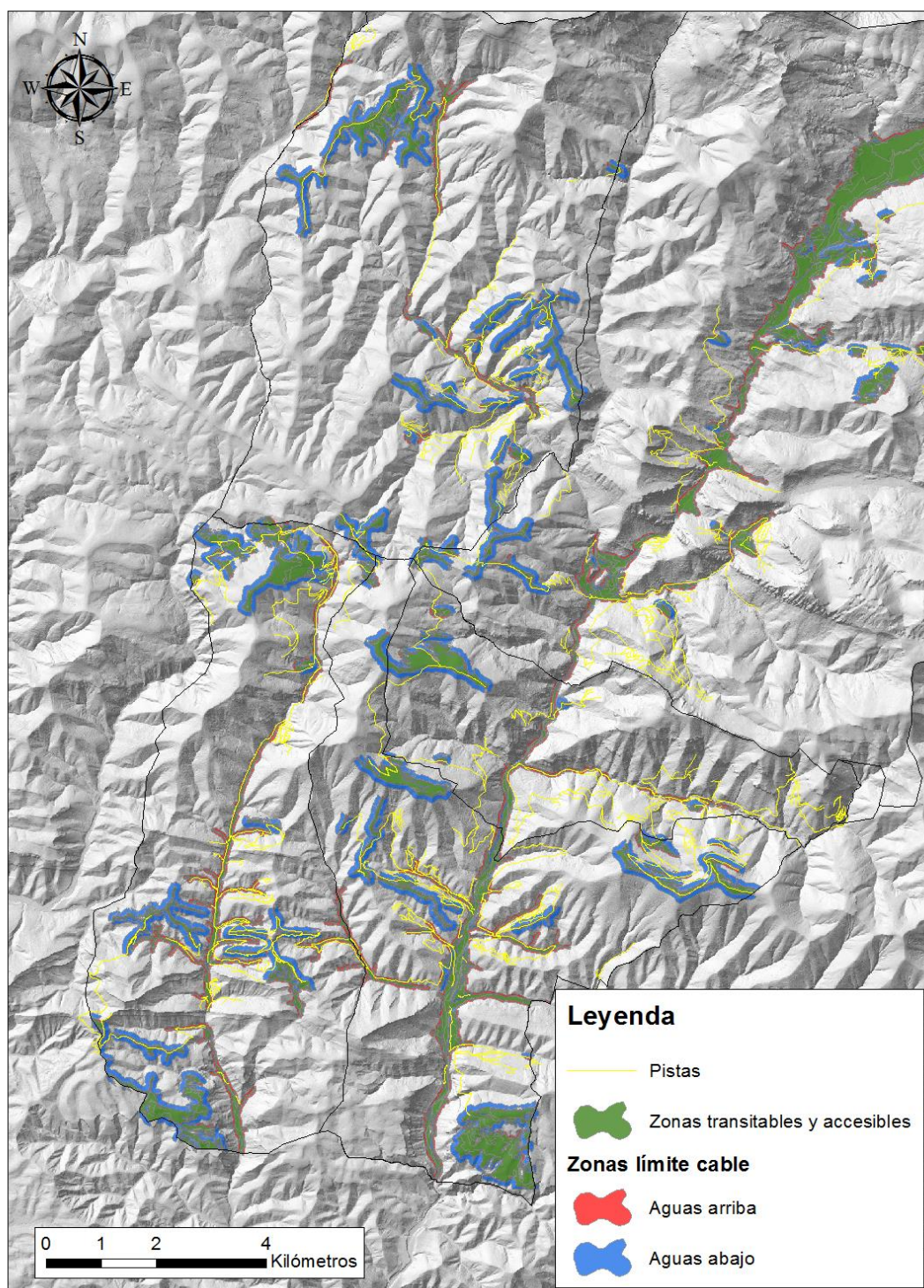
A continuación se muestra los resultados en valores de superficie obtenidos en el valle de Erronkari de las diferentes zonas creadas, una vez se ha ejecutado el modelo de accesibilidad del skidder:

**Tabla 11.** Superficies de las diferentes zonas obtenidas por el modelo de accesibilidad del skidder en el valle de Erronkari.

<b>Zonas definidas en el modelo del skidder</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>%</b>
Zonas transitables y accesibles	1.325,48	15,49
Zonas límite con cable aguas arriba	857,90	10,03
Zonas límite con cable aguas abajo	1.525,90	17,83
Zonas de desembosque desde pistas:		
Aguas arriba	1.041,38	12,17
Aguas abajo	1.953,45	22,83
Zonas explotables no accesibles	1.715,11	20,04
Zonas no explotables	137,52	1,61
<b>Total</b>	<b>8.556,74</b>	



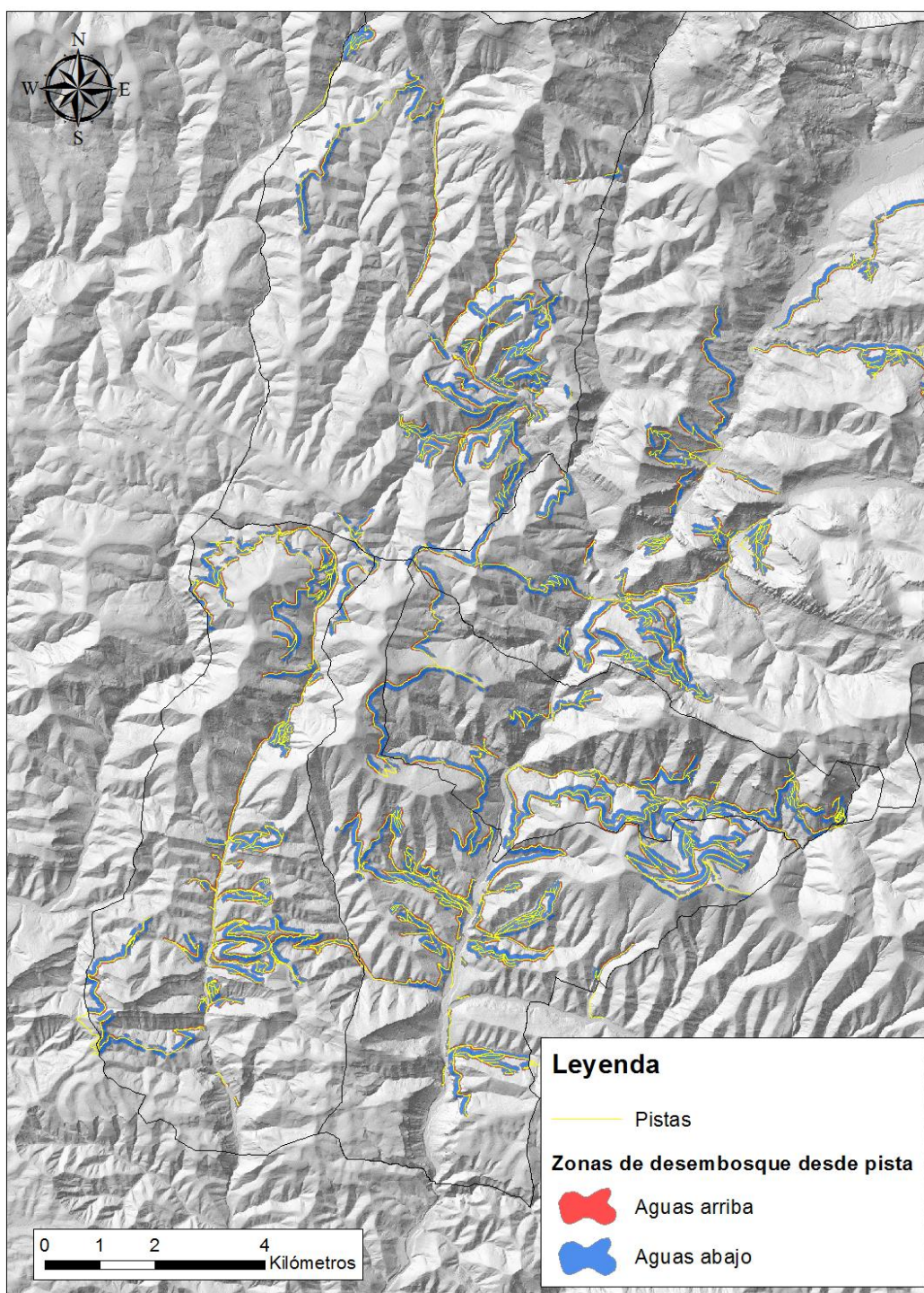
## Zonas transitables y accesibles



**Figura 21.** Zonas transitables y accesibles para el skidder en el valle de Erronkari, junto con las zonas desde el límite de éstas que se trabaja con cable.



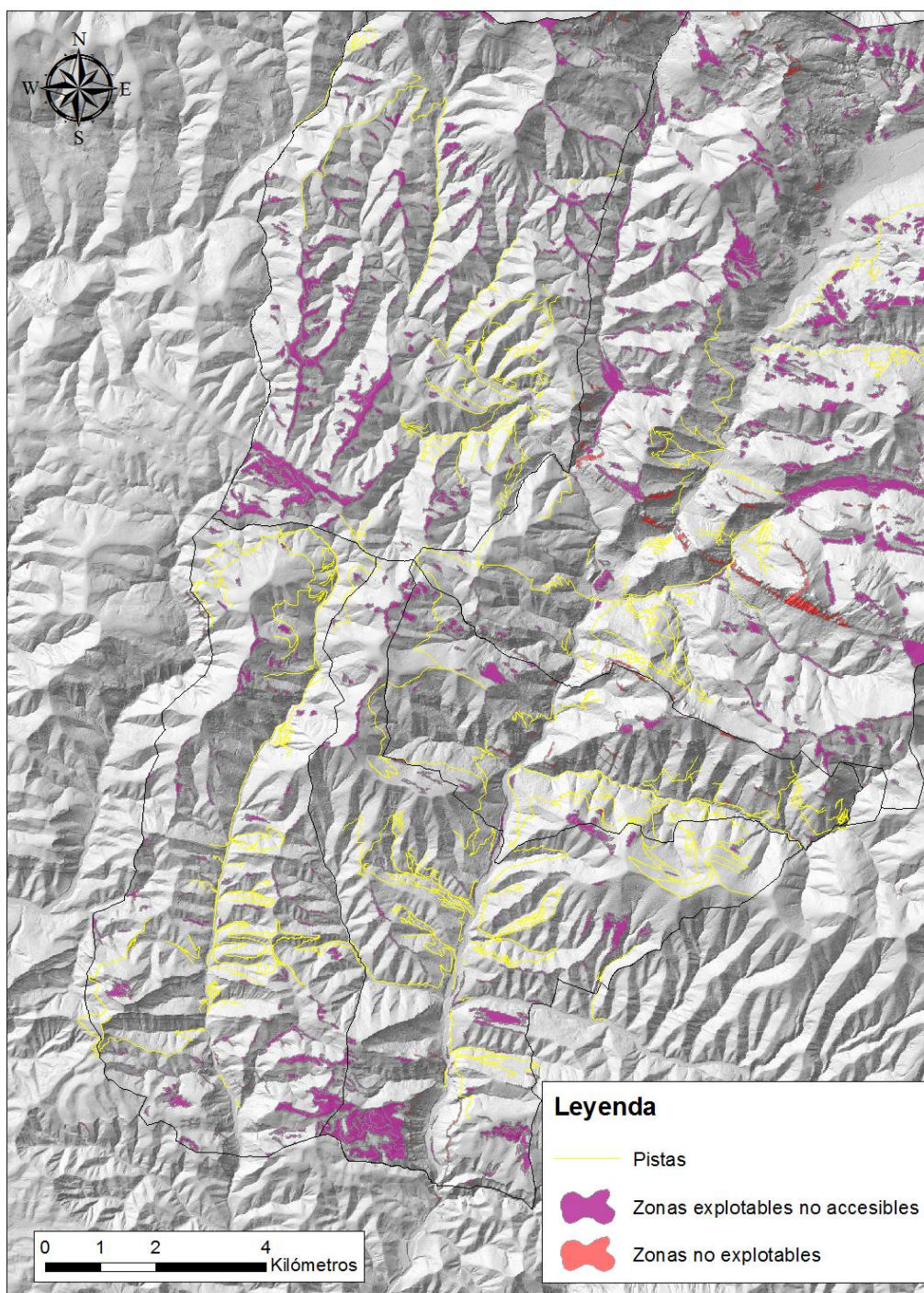
## Zonas de desembosque desde pista



**Figura 22.** Zonas de Erronkari de desembosque desde pista, tematizadas por las diferentes longitudes del cable según la orografía (aguas arriba y aguas abajo).



## Zonas explotables no accesibles y no explotables



**Figura 23.** Zonas explotables pero no accesibles y zonas no explotables presentes en Erronkari.

Después de exponer los resultados de cada área de estudio, podemos ver como los modelos reflejan la disparidad entre ambos territorios respecto al tipo de relieve que presentan, teniendo en cuenta que los estudios se han realizado a diferentes escalas debido a sus características.

Considerando la diferencia de tamaño de los dos territorios, el municipio de Imotz cuenta con una amplia red viaria repartida por todo el territorio, lo cual facilita el acceso a sus montes y esta condición queda reflejada en las superficies de las diferentes zonas catalogadas por el

modelo. Al contrario de Erronkari, donde las infraestructuras presentes son escasas, por lo que limita mucho el acceso de la maquinaria a las zonas de explotación.

Por otro lado, la orografía presente en ambos municipios, muestran una clara diferencia entre ellos. En el municipio de Imotz del total de la superficie el 57% presenta una pendiente de menos del 30%. Mientras que el valle de Erronkari tiene el 83% de toda la superficie con una pendiente de entre el 30-110%, mostrando así una clara diferencia entre la orografía de ambas. Lo cual, se puede decir que el aprovechamiento maderable mecanizado quedará muy limitado en Erronkari.

Teniendo en cuenta la superficie total de cada territorio, en Imotz el 75.46% es explotable (3.199,34 hectáreas) y de éstas, tan sólo el 3,10% no son accesibles. En Erronkari en cambio, del total de su superficie el 34.73% es explotable (8.419,22 hectáreas) y de ésta, el 20,37% no es accesible para el skidder por falta de pistas.

Otro dato interesante que muestra el modelo es la superficie identificada como zona de desembosque desde la pista con cable, ya que ésta, da una idea del tipo de terreno que presenta la zona de estudio en referencia a la pendiente. En el caso de Imotz de toda la superficie explotable, el 23,86% se ha identificado con esta categoría y en Erronkari, del total del área explotable el 44,67% de la superficie se realizará el desembosque desde pista.

Por último, cabe señalar que las dos zonas de estudio utilizadas para el modelo muestran superficies muy pequeñas donde la tala manual no es posible (pendiente > 110%). Del total de cada extensión, Imotz tiene tan sólo el 0.06% y Erronkari el 0,58%.



## 5. CONCLUSIONES

Respecto al modelo de accesibilidad para la explotación forestal, se puede concluir que:

- El modelo se ajusta perfectamente a las necesidades de la empresa, ya que identifica diferentes zonas de desembosque de los montes del municipio de Imotz y el valle de Erronkari. Con lo cual el objetivo principal ha sido alcanzado satisfactoriamente. Además, al ajustarse correctamente a dos regiones con orografía distinta, se entiende que el modelo podrá ser empleado en todo el territorio de Navarra.
- El modelo elaborado permite automatizar la accesibilidad de los montes navarros con diferentes parámetros y maquinarias forestales. Así pues el modelo permite obtener diferentes mapas temáticos de forma sencilla, precisa y rápida. Además, ayuda a obtener una visión global de las posibilidades del territorio, tanto actuales como en el futuro, de cara a la planificación y la gestión.
- En futuros trabajos convendrá tener en cuenta más parámetros tales como la red hidrográfica, obstáculos naturales y artificiales, pedregosidad, distancia de desembosque, etc. que describan la características de la zona de estudio, con el objetivo de definir un modelo más completo y preciso, que se ajuste mejor a la realidad.

En lo referente a las características de cada área de estudio, se puede decir que:

- El municipio de Imotz cuenta con una amplia red viaria repartida por todo el territorio, lo cual facilita el acceso a sus montes y esta condición queda reflejada en las superficies de las diferentes zonas catalogadas por el modelo. Al contrario de Erronkari, donde las infraestructuras presentes son escasas por lo que limita mucho el acceso de la maquinaria a las zonas de explotación.
- En el municipio de Imotz del total de la superficie el 57% presenta una pendiente de menos del 30%. Mientras que el valle de Erronkari tiene el 83% de toda la superficie con una pendiente de entre el 30-110%, mostrando así una clara diferencia entre la orografía de ambas.
- El municipio de Imotz el 75.46% es explotable (3.199,34 ha) y de éstas, tan sólo el 3,10% no son accesibles.
- La mayor parte del municipio de Imotz se ha identificado como transitable y accesible para el skidder, y presenta una superficie total de 1.291,64 ha. La superficie de las zonas que se realizará el desembosque desde la pista con cable es de 739,98 ha. De toda la superficie arbolada 99,11 ha son explotables por las características del relieve que presentan, pero no son accesibles debido a la falta de infraestructuras. Por último, cabe destacar que sólo 2,64 ha se han catalogado como áreas no explotables a causa de la elevada pendiente que presentan.
- La accesibilidad de la procesadora junto con el autocargador en el municipio de Imotz solamente es posible en 118,13 ha y 1.431,25 ha son directamente no explotables por estas dos máquinas por las características del terreno.
- En Erronkari del total de su superficie el 34.73% es explotable (8.419,22 ha). En el valle sólo se ha ejecutado el modelo de accesibilidad del skidder, ya que, el terreno es demasiado escarpado para el uso de la procesadora en la explotación forestal.
- El área de Erronkari presenta una superficie total de 24.240,09 ha. El total de la superficie forestal arbolada transitable y accesible para el skidder son 623,58 ha. El desembosque desde pista será la más recurrida, ya que presenta una superficie



de 2.994,83 ha. Además, el valle de Erronkari presenta 1.715,11 ha explotables por sus características pero que no son accesibles por falta de infraestructuras. Finalmente, sólo 137,52 ha son directamente no explotables, donde la tala manual no es posible.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

ARPANA FORMACIÓN FORESTAL (2015). *Estudio de productos costes y rendimientos de las actividades forestales*.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (1990). *Dibujos en construcción. Espacios para dibujo y texto, cuadros de rotulación en formatos*. UNE – EN ISO 9431. Madrid: AENOR.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (1990). *Formatos y presentaciones de los elementos gráficos de las hojas de dibujo*. UNE – EN ISO 5457. Madrid: AENOR.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (2004). *Campos de datos de bloque de títulos y en cabeceras de documentos*. UNE – EN ISO 7200. Madrid: AENOR.

BASARTEA SL. (2011). *Quiénes somos*. [en línea] Arre: Basarteia [Consultado: 27 de agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.basarteia.com/index.php>

DUPIRE, S., BOURRIER, F., MONNET, J. M., & BERGER, F. (2015). *Sylvaccess: Un modèle pour cartographier automatiquement l'accessibilité des forêts*. Revue Forestière Française, 70(2), 111-126.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). (2016). *Referencia de las herramientas de ArcGIS Pro*. Versión 10.4. Redlands (CA, United States): Esri.

FERNÁNDEZ, E. (2012). *Ejemplos de aplicación de Model Builder de ArcGis 10 en la gestión forestal*. Trabajo de fin de master. Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Mieres.

GOBIERNO DE NAVARRA. (2012). *Los bosques y montes de Navarra*. [en línea]. Pamplona: navarra.es [Consultado: 26 de julio de 2016]. Disponible en: [http://www.navarra.es/home\\_es/Temas/Medio+Ambiente/Montes/Los+bosques+de+Navarra.htm](http://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Montes/Los+bosques+de+Navarra.htm)

HEINRICH, R. (1996). *Código modelo de prácticas de aprovechamiento forestal de la FAO*. Food & Agriculture Org.

INSTITUTO NAVARRO DE SALUD LABORAL. (2012). *Unidad didáctica 13: MAQUINARIA FORESTAL*. [en línea]. Pamplona: navarra.es [Consultado: 3 de agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/D0BC5D5B-545F-4F6A-8F85-35595E34930C/0/13unidad13.pdf>.

MADRIGAL, A. (1994). *Ordenación de montes arbolados*. Madrid: ICONA. ISBN 84-8014-117-4.

MARTÍNEZ, M. (2014). *Aplicaciones SIG a la ordenación de montes*. Trabajo de fin de master. Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Mieres.

MENA, C., GALLARDO, J., ORMAZABAL, Y., MORALES, Y., MONTECINOS, R. (2006). *Teledetección y Sig en el Ámbito Forestal: Experiencias en Chile*. Ambiência, vol. 2, pp.171-185. Curita-Brasil.

## **7. ANEXOS**



## **ANEXO 1: SECUENCIA DE COMANDOS DEL MODELO DE ACCESIBILIDAD DEL SKIDDER**

```
# Import system modules (Importa ArcGis)
```

```
import arcpy
```

```
import os
```

```
import sys
```

```
#Para que a la hora de ejecutarlo los que estén hechos, sobrescriba los resultados
```

```
arcpy.env.overwriteOutput = True
```

```
# PARAMETROS DE ENTRADA:
```

```
#Superficie mínima a tener en cuenta a la hora de ejecutar el modelo: Eliminar parte del  
polígono
```

```
sup_min = arcpy.GetParameterAsText(0)
```

```
##Superficie mínima trabajo a tener en cuenta a la hora de ejecutar el modelo: Seleccionar  
##solo los polígonos superiores a un área
```

```
condicion = arcpy.GetParameterAsText(1)
```

```
#Ubicacion de la tabla de pendientes
```

```
Tabla_Pendiente = arcpy.GetParameterAsText(2)
```

```
#Ubicación de la Geodatabase de entrada --> Input.gdb
```

```
Input = arcpy.GetParameterAsText(3)
```

```
#Ubicación de la Geodatabase de salida --> Output.gdb
```

```
Output = arcpy.GetParameterAsText(4)
```

```
#CARTOGRAFIA DE ENTRADA
```

```
MDT05 = Input + "/MDT05"
```

```
Masa_Forestal = Input + "/Masa_Forestal"
```

```
Pistas = Input + "/Pistas"
```

```
#1. PENDIENTE:
```

```
arcpy.gp.Slope_sa(MDT05,  
                  Output + "/Slope",  
                  "PERCENT_RISE",  
                  "1")
```

```
#2. RECLASIFICAR POR TABLA:
```

```
arcpy.gp.ReclassByTable_sa( Output + "/Slope",  
                             Tabla_Pendiente,  
                             "FROM",  
                             "TO",  
                             "OUT",  
                             Output + "/Reclass_Slope",  
                             "DATA")
```



**#3. PASAR DE RASTER A POLIGONO --> La capa de Reclass\_Slope**

```
arcpy.RasterToPolygon_conversion(in_raster= Output + "/Reclass_Slope",  
                                out_polygon_features= Output + "/Slope_Pol",  
                                simplify="SIMPLIFY",  
                                raster_field="Value")
```

**#### Homogeneizar la pendiente (Ho) --> Eliminar los polígonos menores o iguales a la superficie especificada****#4. ELIMINAR PARTE DEL POLIGONO--> Elimina los recintos que están dentro de un recinto #mayor**

```
arcpy.EliminatePolygonPart_management(in_features= Output + "/Slope_Pol",  
                                      out_feature_class= Output + "/Slope_PolHo1",  
                                      condition="AREA",  
                                      part_area= sup_min,  
                                      part_area_percent="0",  
                                      part_option="ANY")
```

**#5. SELECCIONAR --> Quedarme con los polígonos > a la superficie especificada**

```
arcpy.Select_analysis(in_features= Output + "/Slope_PolHo1",  
                      out_feature_class= Output + "/Slope_PolHo1_2",  
                      where_clause= condicion)
```

**#6. SELECCIONAR --> Seleccionar las Zonas1 mediante atributo**

```
arcpy.Select_analysis(in_features= Output + "/Slope_PolHo1_2",  
                      out_feature_class= Output + "/Zonas1",  
                      where_clause="gridcode = 1")
```

**#7. CREAR CAPA DE ENTIDADES --> Crear una capa de entidades que no esta guardada en el #disco**

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management(in_features= Output + "/Zonas1",  
                                  out_layer="Zonas1_Layer",  
                                  where_clause="",  
                                  workspace= Output,  
                                  field_info="OBJECTID OBJECTID VISIBLE NONE;Shape Shape VISIBLE NONE;Id Id  
HIDDEN NONE;gridcode gridcode VISIBLE NONE;ORIG_FID ORIG_FID HIDDEN  
NONE;Shape_Length Shape_Length VISIBLE NONE;Shape_Area Shape_Area VISIBLE NONE")
```

**#8. SELECCIONAR CAPA POR UBICACION --> Seleccionar los poligonos de las Zonas1 que esten atravesados por una pista--> Utilizar la capa de entidades creada Zonas1\_Layer**

```
# Replace a layer/table view name with a path to a dataset (which can be a layer file) or create  
the layer/table view within the script# The following inputs are layers or table views:  
"Zonas1_Layer"
```

```
arcpy.SelectLayerByLocation_management(in_layer="Zonas1_Layer",  
                                       overlap_type="INTERSECT",
```

```
select_features= Pistas,  
search_distance="",  
selection_type="NEW_SELECTION",  
invert_spatial_relationship="NOT_INVERT")
```

#### #9. SELECCIONAR --> Guardar las Zonas1 atravesadas por una pista

```
# Replace a layer/table view name with a path to a dataset (which can be a layer file) or create  
the layer/table view within the script# The following inputs are layers or table views:  
"Zonas1"
```

```
arcpy.Select_analysis(in_features= "Zonas1_Layer",  
out_feature_class= Output + "/Zonas1_Pistas",  
where_clause="")
```

#### #10. INTERSECCION--> Cruzar las Zonas1\_Pistas con la Masa\_Forestal

```
arcpy.Intersect_analysis(in_features= [Masa_Forestal, Output + "/Zonas1_Pistas"],  
out_feature_class= Output + "/Zonas1_AccesMF",  
join_attributes="ALL",  
cluster_tolerance="-1 Unknown",  
output_type="INPUT")
```

#### #11. SELECCIONAR --> Seleccionar las Zonas2 mediante atributo

```
arcpy.Select_analysis(in_features= Output + "/Slope_PolHo1_2",  
out_feature_class= Output + "/Zonas2",  
where_clause="gridcode = 2")
```

#### #12. CREAR CAPA DE ENTIDADES --> Crear una capa de entidades que no está guardada en el #disco de las Zonas2

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management(in_features= Output + "/Zonas2",  
out_layer="Zonas2_Layer",  
where_clause="",  
workspace= Output,  
field_info="OBJECTID OBJECTID VISIBLE NONE;Shape Shape VISIBLE NONE;Id Id  
HIDDEN NONE;gridcode gridcode VISIBLE NONE;ORIG_FID ORIG_FID HIDDEN  
NONE;Shape_Length Shape_Length VISIBLE NONE;Shape_Area Shape_Area VISIBLE NONE")
```

#### #13. SELECCIONAR CAPA POR UBICACION --> Seleccionar los poligonos de las Zonas2 que esten atravesados por una pista--> Utilizar la capa de entidades creada Zonas2\_Layer

```
# Replace a layer/table view name with a path to a dataset (which can be a layer file) or create  
the layer/table view within the script# The following inputs are layers or table views:  
"Zonas2_Layer"
```

```
arcpy.SelectLayerByLocation_management(in_layer="Zonas2_Layer",  
overlap_type="INTERSECT",  
select_features= Pistas,  
search_distance="",
```

```
selection_type="NEW_SELECTION",
invert_spatial_relationship="NOT_INVERT")
```

#### #14. SELECCIONAR --> Guardar las Zonas2 atravesadas por una pista

```
# Replace a layer/table view name with a path to a dataset (which can be a layer file) or create
the layer/table view within the script# The following inputs are layers or table views:
"Zonas2_Layer"
```

```
arcpy.Select_analysis(in_features= "Zonas2_Layer",
out_feature_class= Output + "/Zonas2_Pistas",
where_clause="")
```

#### #15. DE POLILINEA A RASTER --> Pasar la capa de Pistas a ráster

```
arcpy.PolylineToRaster_conversion(in_features= Pistas,
value_field="OBJECTID",
out_rasterdataset= Output + "/Pistas_Raster",
cell_assignment="MAXIMUM_LENGTH",
priority_field="NONE",
cellsize= MDT05)
```

#### #16. CALCULADORA RASTER--> Darles a las Pistas\_Raster el valor 1

```
arcpy.gp.RasterCalculator_sa("""Con("Pistas_Raster" >= 0,1)""", Output + "/Pistas_v1")
```

#### #17.ASIGNACION DE LA DISTANCIA DE RUTA--> Calcular lo que es Aguas\_Arriba: 30m

```
arcpy.gp.PathAllocation_sa(Output + "/Pistas_v1", Output + "/Aguas_Arriba", "", "", "", "BINARY
1 45", MDT05, "BINARY 1 0 90", "30", "", "Value", "", "", "", "", "", "")
```

#### #18.ASIGNACION DE LA DISTANCIA DE RUTA--> Calcular lo que es Aguas\_Abajo: 90m

```
arcpy.gp.PathAllocation_sa(Output + "/Pistas_v1", Output + "/Aguas_Abajo", "", "", "", "BINARY
1 45", MDT05, "BINARY 1 -90 0", "90", "", "Value", "", "", "", "", "", "")
```

#### #19. DE RASTER A POLIGONO --> Pasar el ráster de Aguas\_Arriba a polígonos

```
arcpy.RasterToPolygon_conversion(in_raster= Output + "/Aguas_Arriba",
out_polygon_features= Output + "/Aguas_ArribaPol",
simplify="SIMPLIFY",
raster_field="Value")
```

#### #20. DE RASTER A POLIGONO --> Pasar el ráster de Aguas\_Abajo a polígonos

```
arcpy.RasterToPolygon_conversion(in_raster= Output + "/Aguas_Abajo",
out_polygon_features= Output + "/Aguas_AbajoPol",
simplify="SIMPLIFY",
raster_field="Value")
```

**#21. CALCULAR CAMPO--> Cambiar el gridcode de la capa de Aguas\_AbajoPol = 2**

```
arcpy.CalculateField_management(in_table= Output + "/Aguas_AbajoPol",  
                                field="gridcode", expression="2",  
                                expression_type="PYTHON",  
                                code_block="")
```

**#22. FUSIONAR--> Juntar las dos capas de Aguas\_Arriba y Aguas\_Abajo en una sola**

```
arcpy.Merge_management(inputs= [ Output + "/Aguas_ArribaPol", Output  
+ "/Aguas_AbajoPol"],  
                        output= Output + "/Zonas_Pistas",  
                        field_mappings="""Id "Id" true true false 4 Long 0 0 ,  
First,#,D:\Trabajos_SIG\Output\Output.gdb\Aguas_AbajoPol,Id,-1,-  
1,D:\Trabajos_SIG\Output\Output.gdb\Aguas_ArribaPol,  
Id,-1,-1;gridcode "gridcode" true true false 4 Long 0 0 ,First,#,  
D:\Trabajos_SIG\Output\Output.gdb\Aguas_AbajoPol,gridcode,-1,-1,  
D:\Trabajos_SIG\Output\Output.gdb\Aguas_ArribaPol,gridcode,-1,-1;  
Shape_Length "Shape_Length" false true true 8 Double 0 0 ,First,#,  
D:\Trabajos_SIG\Output\Output.gdb\Aguas_AbajoPol,Shape_Length,-1,-1,  
D:\Trabajos_SIG\Output\Output.gdb\Aguas_ArribaPol,Shape_Length,-1,-1;  
Shape_Area "Shape_Area" false true true 8 Double 0 0 ,First,#,  
D:\Trabajos_SIG\Output\Output.gdb\Aguas_AbajoPol,  
Shape_Area,-1,-1,D:\Trabajos_SIG\Output\Output.gdb\Aguas_ArribaPol,Shape_Area,-  
1,-1""")
```

**#23. INTERSECTAR --> Cruzar las capas de Zonas\_Pistas con la de Zonas2\_Pistas**

```
arcpy.Intersect_analysis(in_features=[ Output + "/Zonas2_Pistas", Output + "/Zonas_Pistas"],  
                          out_feature_class= Output + "/Zonas2_Accesibles",  
                          join_attributes="ALL",  
                          cluster_tolerance="-1 Unknown",  
                          output_type="INPUT")
```

**#24. INTERSECTAR --> Cruzar las Zonas2\_Accesibles con la capa de Masa\_Forestal**

```
arcpy.Intersect_analysis(in_features=[Masa_Forestal ,Output + "/Zonas2_Accesibles"],  
                          out_feature_class= Output + "/Zonas2_AccesMF",  
                          join_attributes="ALL",  
                          cluster_tolerance="-1 Unknown",  
                          output_type="INPUT")
```

**#25. DE POLIGONO A LINEA--> Pasar la capa de Zonas1\_AccesMF a líneas**

```
arcpy.PolygonToLine_management(in_features= Output + "/Zonas1_AccesMF",  
                                out_feature_class= Output + "/Zonas1_Lineas",  
                                neighbor_option="IDENTIFY_NEIGHBORS")
```

#26. DE POLILINEA A RASTER --> Pasar la capa de Zonas1\_Lineas a raster

```
arcpy.PolylineToRaster_conversion(in_features= Output + "/Zonas1_Lineas",
    value_field="OBJECTID",
    out_rasterdataset= Output + "/Zonas1_Raster",
    cell_assignment="MAXIMUM_LENGTH",
    priority_field="NONE",
    cellsize= MDT05)
```

#27. CALCULADORA RASTER--> Unificar la capa de Zonas1\_Raster, con el valor 1

```
arcpy.gp.RasterCalculator_sa("""Con("Zonas1_Raster" >= 0,1)""", Output + "/Zonas1_v1")
```

#28.ASIGNACION DE LA DISTANCIA DE RUTA--> Identificar las zonas que sean Aguas\_Arriba  
#del borde de las Zonas1 :30m

```
arcpy.gp.PathAllocation_sa(Output + "/Zonas1_v1", Output + "/Aguas_ArribaZ1", "", "", "",
    "BINARY 1 45", MDT05, "BINARY 1 0 90", "30", "", "Value", "", "", "", "", "", "")
```

#29.ASIGNACION DE LA DISTANCIA DE RUTA--> Identificar las zonas que sean Aguas\_Abajo  
#del borde de las Zonas1: 90m

```
arcpy.gp.PathAllocation_sa(Output + "/Zonas1_v1", Output + "/Aguas_AbajoZ1", "", "", "",
    "BINARY 1 45", MDT05, "BINARY 1 -90 0", "90", "", "Value", "", "", "", "", "", "")
```

#30. DE RASTER A POLIGONO--> Pasar la capa de Aguas\_ArribaZ1 a polígonos

```
arcpy.RasterToPolygon_conversion(in_raster= Output + "/Aguas_ArribaZ1",
    out_polygon_features= Output + "/Aguas_ArribaZ1Pol",
    simplify="SIMPLIFY",
    raster_field="Value")
```

#31. DE RASTER A POLIGONO--> Pasar la capa de Aguas\_AbajoZ1 a polígonos

```
arcpy.RasterToPolygon_conversion(in_raster= Output + "/Aguas_AbajoZ1",
    out_polygon_features= Output + "/Aguas_AbajoZ1Pol",
    simplify="SIMPLIFY",
    raster_field="Value")
```

#32. CALCULAR CAMPO--> Cambiar el gridcode de la capa de Aguas\_AbajoPol = 2

```
arcpy.CalculateField_management(in_table= Output + "/Aguas_AbajoZ1Pol",
    field="gridcode", expression="2",
    expression_type="PYTHON",
    code_block="")
```

#33. FUSIONAR--> Juntar las dos capas de Aguas\_Arriba y Aguas\_Abajo de las zonas limite, de  
#las Zonas1

```
arcpy.Merge_management(inputs=[Output + "/Aguas_ArribaZ1Pol", Output
    + "/Aguas_AbajoZ1Pol"],
    output= Output + "/Zonas1_Cable",
    field_mappings="""Id    "Id"    true    true    false    4    Long    0    0
,First,#,D:\Trabajos_SIG\Output\Output.gdb\Aguas_ArribaZ1Pol,Id,-1,-1,
```



```
D:\Trabajos_SIG\Output\Output.gdb\Aguas_AbajoZ1Pol,Id,-1,-1;gridcode "gridcode"
true true false 4 Long 0 0 ,First,#,
D:\Trabajos_SIG\Output\Output.gdb\Aguas_ArribaZ1Pol,gridcode,-1,-1,
D:\Trabajos_SIG\Output\Output.gdb\Aguas_AbajoZ1Pol,gridcode,-1,-1;
Shape_Length "Shape_Length" false true true 8 Double 0 0 ,First,#,
D:\Trabajos_SIG\Output\Output.gdb\Aguas_ArribaZ1Pol,Shape_Length,-1,-1,
D:\Trabajos_SIG\Output\Output.gdb\Aguas_AbajoZ1Pol,Shape_Length,-1,-1;
Shape_Area "Shape_Area" false true true 8 Double 0 0 ,First,#,
D:\Trabajos_SIG\Output\Output.gdb\Aguas_ArribaZ1Pol,Shape_Area,-1,-1,
D:\Trabajos_SIG\Output\Output.gdb\Aguas_AbajoZ1Pol,Shape_Area,-1,-1""")
```

#### #34. INTERSECTAR --> Cruzar las Zonas1\_Cable con las Zonas2

```
arcpy.Intersect_analysis(in_features=[Output + "/Zonas2", Output + "/Zonas1_Cable"],
    out_feature_class= Output + "/Zonas1_LimCable",
    join_attributes="ALL",
    cluster_tolerance="-1 Unknown",
    output_type="INPUT")
```

#### #35. SELECCIONAR CAPA POR UBICACION --> Seleccionar los poligonos de las Zonas1 que no #atravesados por una pista--> Utilizar la capa de entidades creada Zonas1\_Layer

```
# Replace a layer/table view name with a path to a dataset (which can be a layer file) or
#create the layer/table view within the script# The following inputs are layers or table views:
#"Zonas1_Layer"
```

```
arcpy.SelectLayerByLocation_management(in_layer="Zonas1_Layer",
    overlap_type="INTERSECT",
    select_features= Pistas,
    search_distance="",
    selection_type="NEW_SELECTION",
    invert_spatial_relationship="INVERT")
```

#### #36. SELECCIONAR --> Guardar las Zonas1 que no están atravesadas por una pista

```
# Replace a layer/table view name with a path to a dataset (which can be a layer file) or create
the layer/table view within the script# The following inputs are layers or table views:
#"Zonas1"
```

```
arcpy.Select_analysis(in_features= "Zonas1_Layer",
    out_feature_class= Output + "/Zonas1_NoAccesibles",
    where_clause="")
```

#### #37. SELECCIONAR CAPA POR UBICACION --> Seleccionar los polígonos de las Zonas2 que no #están atravesados por una pista--> Utilizar la capa de entidades creada Zonas2\_Layer

```
# Replace a layer/table view name with a path to a dataset (which can be a layer file) or
#create the layer/table view within the script
```

```
# The following inputs are layers or table views: "Zonas2_Layer"
```

```
arcpy.SelectLayerByLocation_management(in_layer="Zonas2_Layer",
    overlap_type="INTERSECT",
    select_features= Pistas,
    search_distance="",
    selection_type="NEW_SELECTION",
    invert_spatial_relationship="INVERT")
```

#38. SELECCIONAR --> Guardar las Zonas2 que no estan atravesadas por una pista

# Replace a layer/table view name with a path to a dataset (which can be a layer file) or create the layer/table view within the script# The following inputs are layers or table views:  
#"Zonas2\_Layer"

```
arcpy.Select_analysis(in_features= "Zonas2_Layer",
    out_feature_class= Output + "/Zonas2_NoAccesibles",
    where_clause="")
```

#39. FUSIONAR --> Sumar las dos zonas de las Zonas1 y Zonas2 explotables pero no #accesibles

```
arcpy.Merge_management(inputs= [Output + "/Zonas1_NoAccesibles", Output + "/Zonas2_NoAccesibles"],
    output= Output + "/Zonas_NoAccesibles",
    field_mappings="""gridcode "gridcode" true true false 4 Long 0 0 ,First,#,
D:\SIG\Explo\Output\Output.gdb\Zonas1_NoAccesibles,gridcode,-1,-1,
D:\SIG\Explo\Output\Output.gdb\Zonas2_NoAccesibles,gridcode,-1,-1;
Shape_Length "Shape_Length" false true true 8 Double 0 0 ,First,#,
D:\SIG\Explo\Output\Output.gdb\Zonas1_NoAccesibles,Shape_Length,-1,-1,
D:\SIG\Explo\Output\Output.gdb\Zonas2_NoAccesibles,Shape_Length,-1,-1;
Shape_Area "Shape_Area" false true true 8 Double 0 0 ,First,#,
D:\SIG\Explo\Output\Output.gdb\Zonas1_NoAccesibles,Shape_Area,-1,-1,
D:\SIG\Explo\Output\Output.gdb\Zonas2_NoAccesibles,Shape_Area,-1,-1""")
```

#40. INTERSECTAR --> Las Zonas\_NoAccesibles con las capa de Masa\_Forestal para obtener #las zonas explotables pero no accesibles

```
arcpy.Intersect_analysis(in_features= [Masa_Forestal, Output + "/Zonas_NoAccesibles"],
    out_feature_class= Output + "/Explotable_NoAcces",
    join_attributes="ALL",
    cluster_tolerance="-1 Unknown",
    output_type="INPUT")
```

#41. SELECCIONAR --> Seleccionar las Zonas3 mediante atributo

```
arcpy.Select_analysis(in_features= Output + "/Slope_PolHo1_2",
    out_feature_class= Output + "/Zonas3",
    where_clause="gridcode = 3")
```

## **ANEXO 2: SECUENCIA DE COMANDOS DEL MODELO DE ACCESIBILIDAD DE LA PROCESADORA Y EL AUTOCARGADOR**

```
# Import system modules (Importa ArcGis)
```

```
import arcpy
```

```
import os
```

```
import sys
```

```
# PARAMETROS DE ENTRADA
```

```
#Superficie mínima a tener en cuenta a la hora de ejecutar el modelo: Eliminar parte del  
#polígono
```

```
sup_min = arcpy.GetParameterAsText(0)
```

```
##Superficie mínima a tener en cuenta a la hora de ejecutar el modelo: Seleccionar solo los  
#polígonos superiores a un área
```

```
condicion = arcpy.GetParameterAsText(1)
```

```
#Tabla de pendientes con los rangos definidos para la procesadora
```

```
Tabla_Pendiente = arcpy.GetParameterAsText(2)
```

```
#Ubicación de la Geodatabase de entrada --> Input.gdb
```

```
Input = arcpy.GetParameterAsText(3)
```

```
#Ubicación de la Geodatabase de salida --> Output.gdb
```

```
Output = arcpy.GetParameterAsText(4)
```

```
#Para que a la hora de ejecutarlo los que estén hechos, sobrescriba los resultados
```

```
arcpy.env.overwriteOutput= True
```

```
#CARTOGRAFIA DE ENTRADA
```

```
MDT05 = Input + "/MDT05"
```

```
Masa_Forestal = Input + "/Masa_Forestal"
```

```
Pistas = Input + "/Pistas"
```

```
#1. PENDIENTE:
```

```
arcpy.gp.Slope_sa(MDT05, Output + "/Slope", "PERCENT_RISE", "1")
```

```
#2. RECLASIFICAR POR TABLA:
```

```
arcpy.gp.ReclassByTable_sa( Output + "/Slope", Tabla_Pendiente,  
    "FROM",  
    "TO",  
    "OUT",  
    Output + "/Reclass_Slope",  
    "DATA")
```

```
#3. PASAR DE RASTER A POLIGONO --> La capa de Reclass_Slope
```

```
arcpy.RasterToPolygon_conversion(in_raster= Output + "/Reclass_Slope",  
    out_polygon_features= Output + "/Slope_Pol",  
    simplify="SIMPLIFY",
```

```
raster_field="Value")
```

```
#### Homogeneizar la pendiente--> Eliminar los polígonos menores o iguales a la superficie  
#especificada
```

```
#4. ELIMINAR PARTE DEL POLIGONO--> Elimina los recintos que están dentro de un recinto  
#mayor
```

```
arcpy.EliminatePolygonPart_management(in_features= Output + "/Slope_Pol",  
    out_feature_class= Output + "/Slope_PolHo1",  
    condition="AREA",  
    part_area= sup_min,  
    part_area_percent="0",  
    part_option="ANY")
```

```
#5. SELECCIONAR --> Quedarme con los polígonos > a la superficie mínima de trabajo
```

```
arcpy.Select_analysis(in_features= Output + "/Slope_PolHo1",  
    out_feature_class= Output + "/Slope_PolHo1_2",  
    where_clause= condicion)
```

```
#6. SELECCIONAR --> Guardar las Zonas1: 0-35%
```

```
arcpy.Select_analysis(in_features= Output + "/Slope_PolHo1_2",  
    out_feature_class= Output + "/Zonas1",  
    where_clause="gridcode = 1")
```

```
#7. CREAR CAPA DE ENTIDADES --> Crear una capa de entidades que no esta guardada en el  
#disco
```

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management(in_features= Output + "/Zonas1",  
    out_layer="Zonas1_Layer",  
    where_clause="",  
    workspace= Output,  
    field_info="OBJECTID OBJECTID VISIBLE NONE;Shape Shape VISIBLE NONE;Id Id  
HIDDEN NONE;gridcode gridcode VISIBLE NONE;ORIG_FID ORIG_FID HIDDEN  
NONE;Shape_Length Shape_Length VISIBLE NONE;Shape_Area Shape_Area VISIBLE NONE")
```

```
#8. SELECCIONAR CAPA POR UBICACION --> Seleccionar los polígonos de las Zonas1 que  
#estén atravesados por una pista--> Utilizar la capa de entidades creada Zonas1_Layer
```

```
# Replace a layer/table view name with a path to a dataset (which can be a layer file) or  
#create the layer/table view within the script# The following inputs are layers or table views:  
#"Zonas1_Layer"
```

```
arcpy.SelectLayerByLocation_management(in_layer="Zonas1_Layer",  
    overlap_type="INTERSECT",  
    select_features= Pistas,  
    search_distance="",  
    selection_type="NEW_SELECTION",  
    invert_spatial_relationship="NOT_INVERT")
```

#9. SELECCIONAR --> Guardar las Zonas1 atravesadas por una pista

```
# Replace a layer/table view name with a path to a dataset (which can be a layer file) or  
#create the layer/table view within the script# The following inputs are layers or table views:  
#"Zonas1"
```

```
arcpy.Select_analysis(in_features="Zonas1_Layer",  
    out_feature_class= Output + "/Zonas1_Pistas",  
    where_clause="")
```

#10. SELECCIONAR--> Seleccionar de la capa de Masa\_Forestal las entidades que sean:  
#GRUPO= coníferas

```
arcpy.Select_analysis(in_features= Masa_Forestal,  
    out_feature_class= Output + "/Coniferas",  
    where_clause= "GRUPO = 'Coníferas'")
```

#11. INTERSECTAR--> Cruzar las Zonas1\_Pistas con la capa de coníferas--> Zonas\_Exploitable

```
arcpy.Intersect_analysis(in_features=[ Output + "/Zonas1_Pistas", Output + "/Coniferas"],  
    out_feature_class= Output + "/Zonas_Explotables",  
    join_attributes="ALL",  
    cluster_tolerance="-1 Unknown",  
    output_type="INPUT")
```

#12. SELECCIONAR CAPA POR UBICACION --> Seleccionar los polígonos de las Zonas1 que no  
#estén atravesados por una pista--> Utilizar la capa de entidades creada Zonas1\_Layer

```
# Replace a layer/table view name with a path to a dataset (which can be a layer file) or create  
the layer/table view within the script# The following inputs are layers or table views:  
#"Zonas1_Layer"
```

```
arcpy.SelectLayerByLocation_management(in_layer="Zonas1_Layer",  
    overlap_type="INTERSECT",  
    select_features= Pistas,  
    search_distance="",  
    selection_type="NEW_SELECTION",  
    invert_spatial_relationship="INVERT")
```

#13. SELECCIONAR --> Guardar las Zonas que no están atravesadas por una pista pero que son  
#explotables

```
# Replace a layer/table view name with a path to a dataset (which can be a layer file) or  
#create the layer/table view within the script# The following inputs are layers or table views:  
#"Zonas2_Layer"
```

```
arcpy.Select_analysis(in_features="Zonas1_Layer",  
    out_feature_class= Output + "/Zonas_NoAccesibles",  
    where_clause="")
```



#14. INTERSECTAR--> Cruzar las Zonas\_ExploNoAcces con la capa de coníferas-->  
Zonas\_ExploNoAcces

```
arcpy.Intersect_analysis([Output + "/Zonas_NoAccesibles", Output + "/Coníferas"],  
    out_feature_class= Output + "/Zonas_ExploNoAcces",  
    join_attributes="ALL",  
    cluster_tolerance="-1 Unknown",  
    output_type="INPUT")
```

#15. SELECCIONAR--> Seleccionar mediante expresión SQL las zonas que no son explotables:  
#Pendiente > 35% --> gridcode=2

```
arcpy.Select_analysis(in_features= Output + "/Slope_PolHo1_2",  
    out_feature_class= Output + "/Zonas_NoExplotables",  
    where_clause="gridcode
```

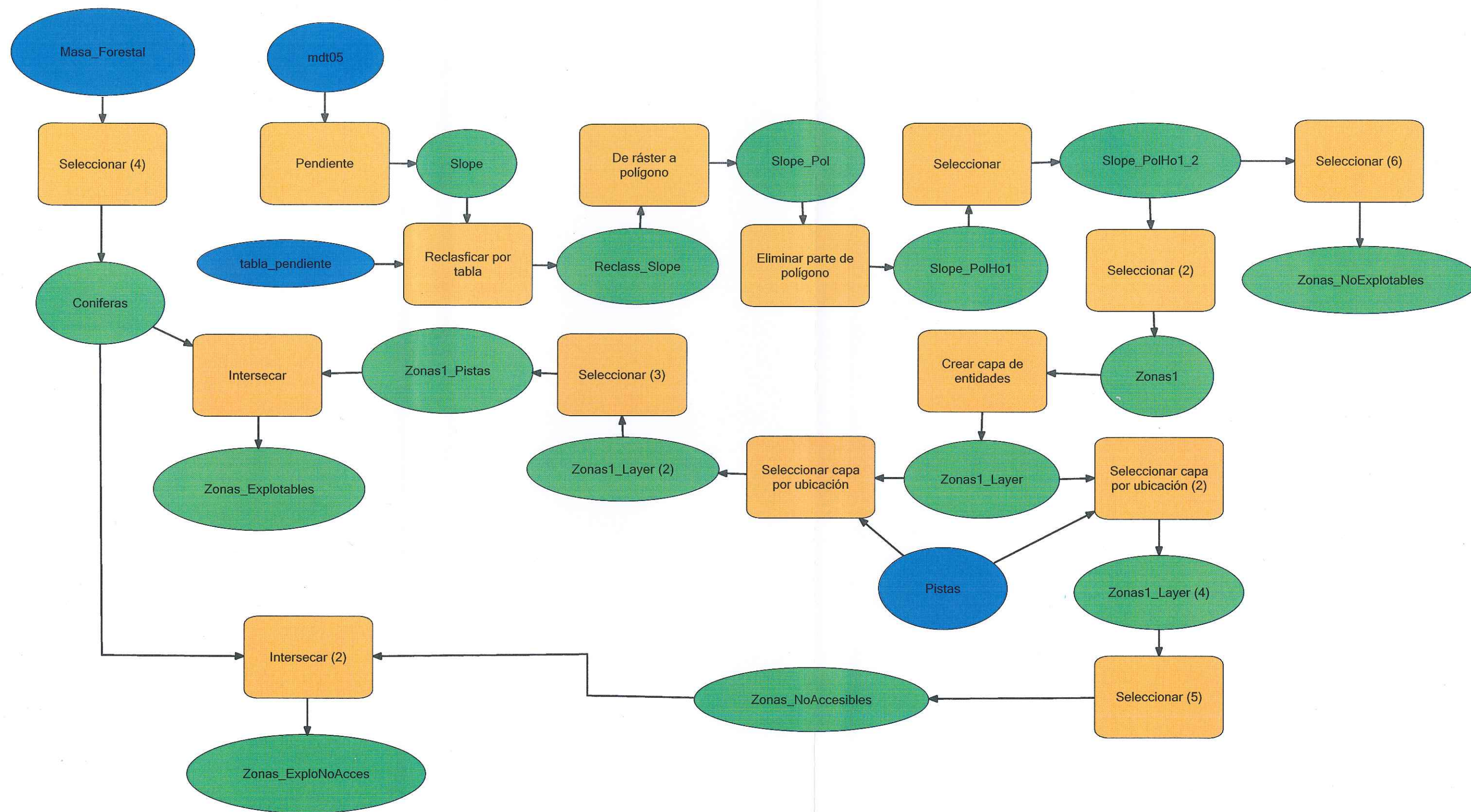
**ANEXO 2: Diagramas de los modelos.**

- **Leyenda del diagrama:**

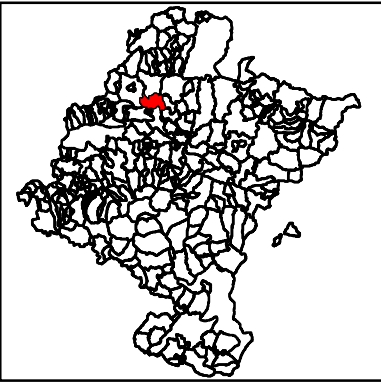










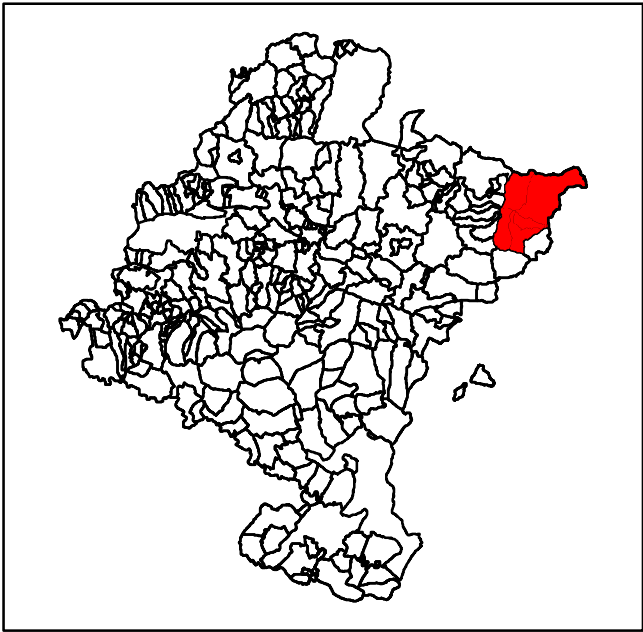
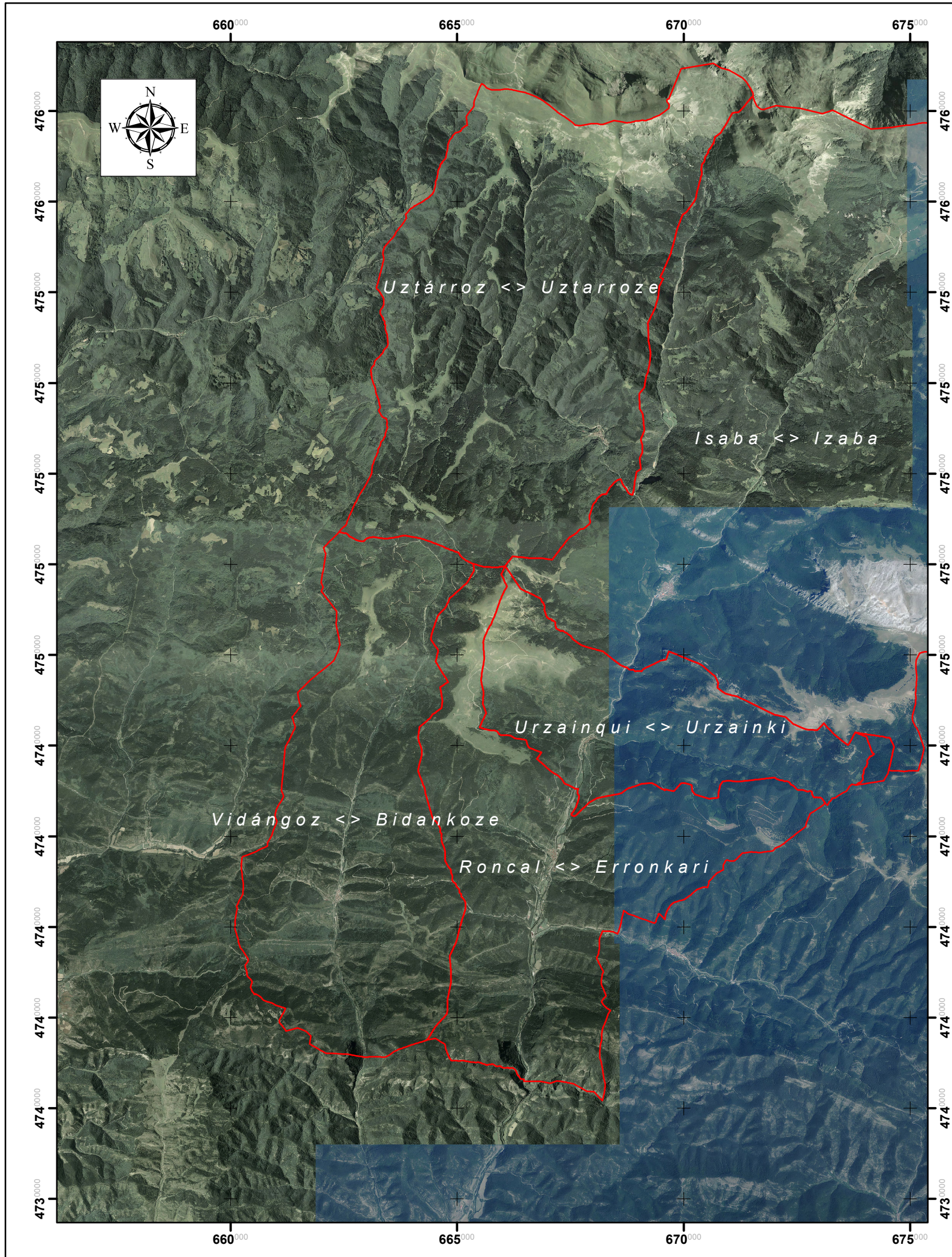


Sistema de Referencia Geodésico ETRS89  
Elipsoide GRS80. Semieje mayor (a)=6 378 137 m  
Aplanamiento (f)=1/298.26  
Longitudes referidas al meridiano Greenwich  
Latitudes referidas al Ecuador  
Proyección UTM Huso 30 N

0 0,5 1 2 Kilómetros

Proyecto			
DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE ACCESIBILIDAD PARA LA EXPLOTACIÓN FORESTAL			
Título		Ref. técnica	Autora
SITUACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE IMOTZ		M. Goñi y G. Miaillier	Beatriz Octavio
Centro	Entidad responsable	Firma	Nº Identificación MAPA 1
	UPNA y Basartea SL		
 	Escala		Fecha
	1:35.000		Sept. 2016
			Id.
			Es.
			Hoja
			1/5





**Leyenda**

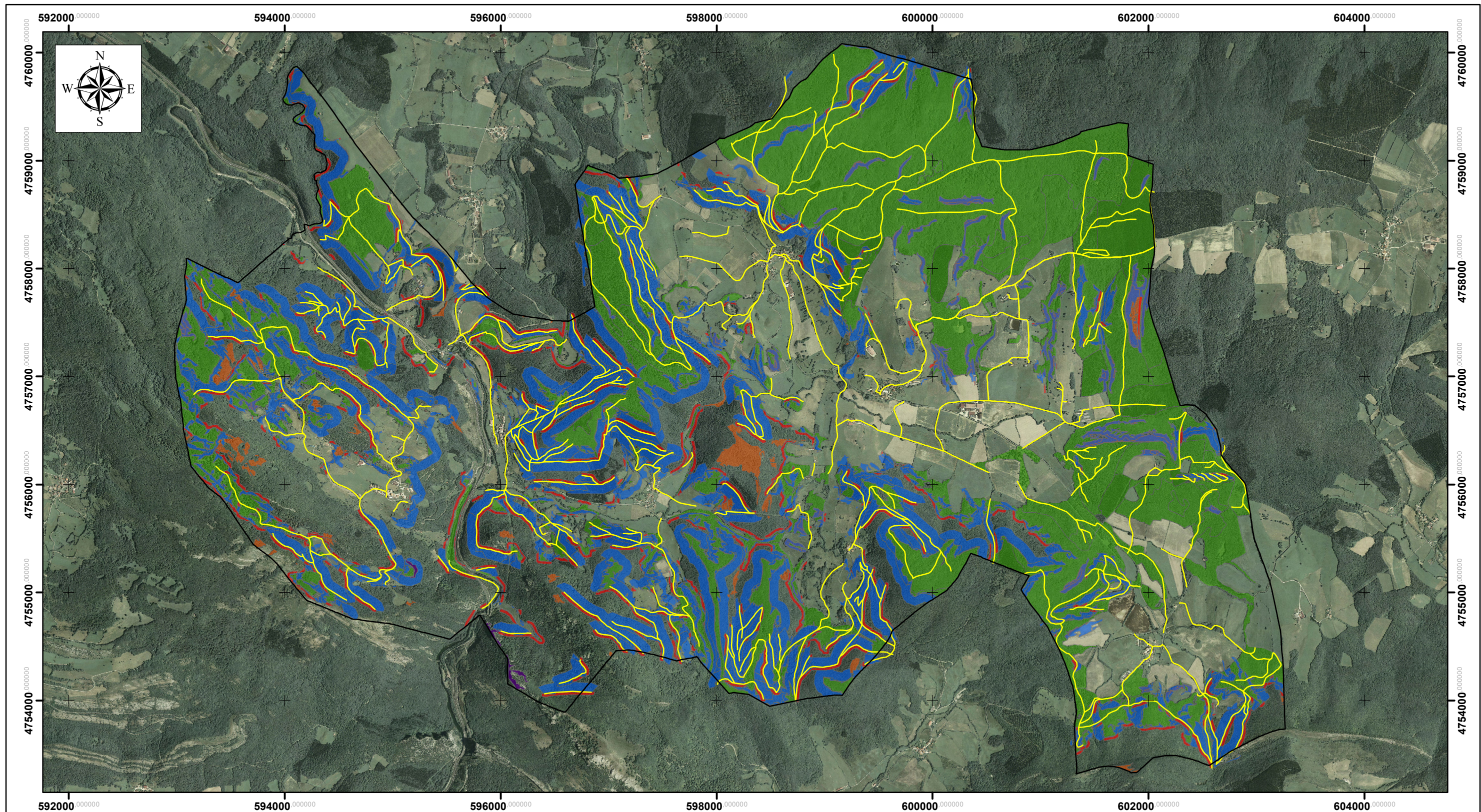
 Límite municipal

Sistema de Referencia Geodésico ETRS89  
Elipsoide GRS80. Semieje mayor (a)=6 378 137 m  
Aplanamiento (f)=1/298.26  
Longitudes referidas al meridiano Greenwich  
Latitudes referidas al Ecuador  
Proyección UTM Huso 30 N

0 1 2 4  
 Kilómetros

Proyecto					
DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE ACCESIBILIDAD PARA LA EXPLOTACIÓN FORESTAL					
Título		Ref. técnica		Autora	
SITUACIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL VALLE DE RONCAL		M. Goñi y G. Miaillier		Beatriz Octavio	
Centro	Entidad responsable	Firma	Nº Identificación		
	UPNA y Basartea SL				
	Escala		Fecha	Id.	Hoja
	1:100.000		Sept. 2016	Es.	2/5
					





## Leyenda

### Pistas

—

### Zonas transitables y accesibles

■

### Zonas de desembosque desde pista

■ Aguas arriba

■ Aguas abajo

### Zonas límite con cable

■ Aguas arriba

■ Aguas abajo

### Zonas explotables no accesibles

■

### Zonas no explotables

■

Sistema de Referencia Geodésico ETRS89  
Elipsoide GRS80. Semieje mayor (a)=6 378 137 m  
Aplanamiento (f)=1/298.26  
Longitudes referidas al meridiano Greenwich  
Latitudes referidas al Ecuador  
Proyección UTM Huso 30 N

0 0,5 1 2 Kilómetros

Proyecto

## DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE ACCESIBILIDAD PARA LA EXPLOTACIÓN FORESTAL

Título

ACCESIBILIDAD DEL SKIDDER EN IMOTZ

Ref. técnica

M. Goñi y G. Miaillier

Autora

Beatriz Octavio

Centro

**upna**  
Unidad  
Pública de  
Nuestro  
Ahorro

**basartea**  
terceros y medio ambiente

Entidad responsable

UPNA y Basartea SL

Firma

Nº Identificación

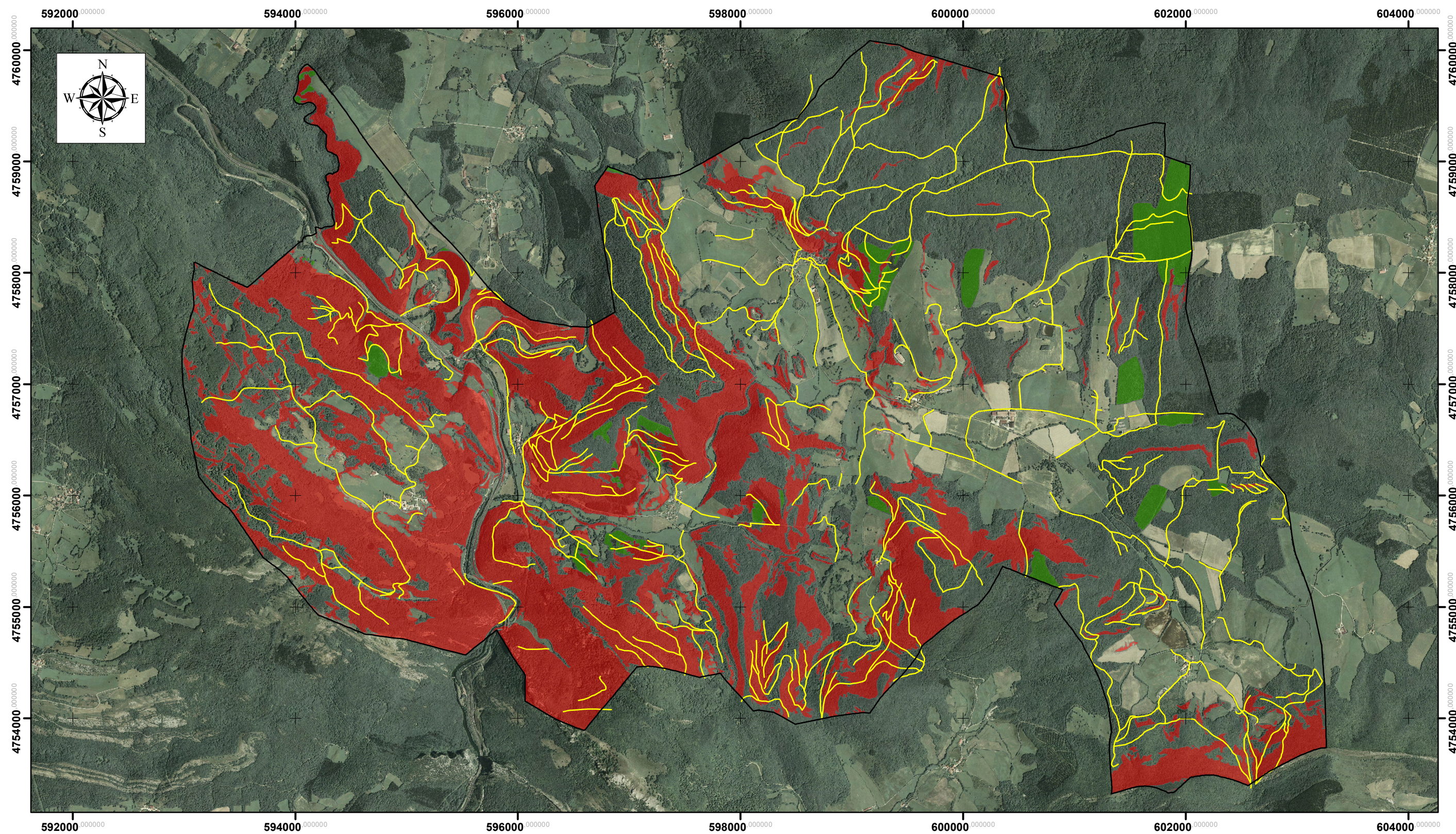
MAPA 3

Fecha  
00/00/2016




Id.  
Es.

Hoja  
3/5





### Leyenda

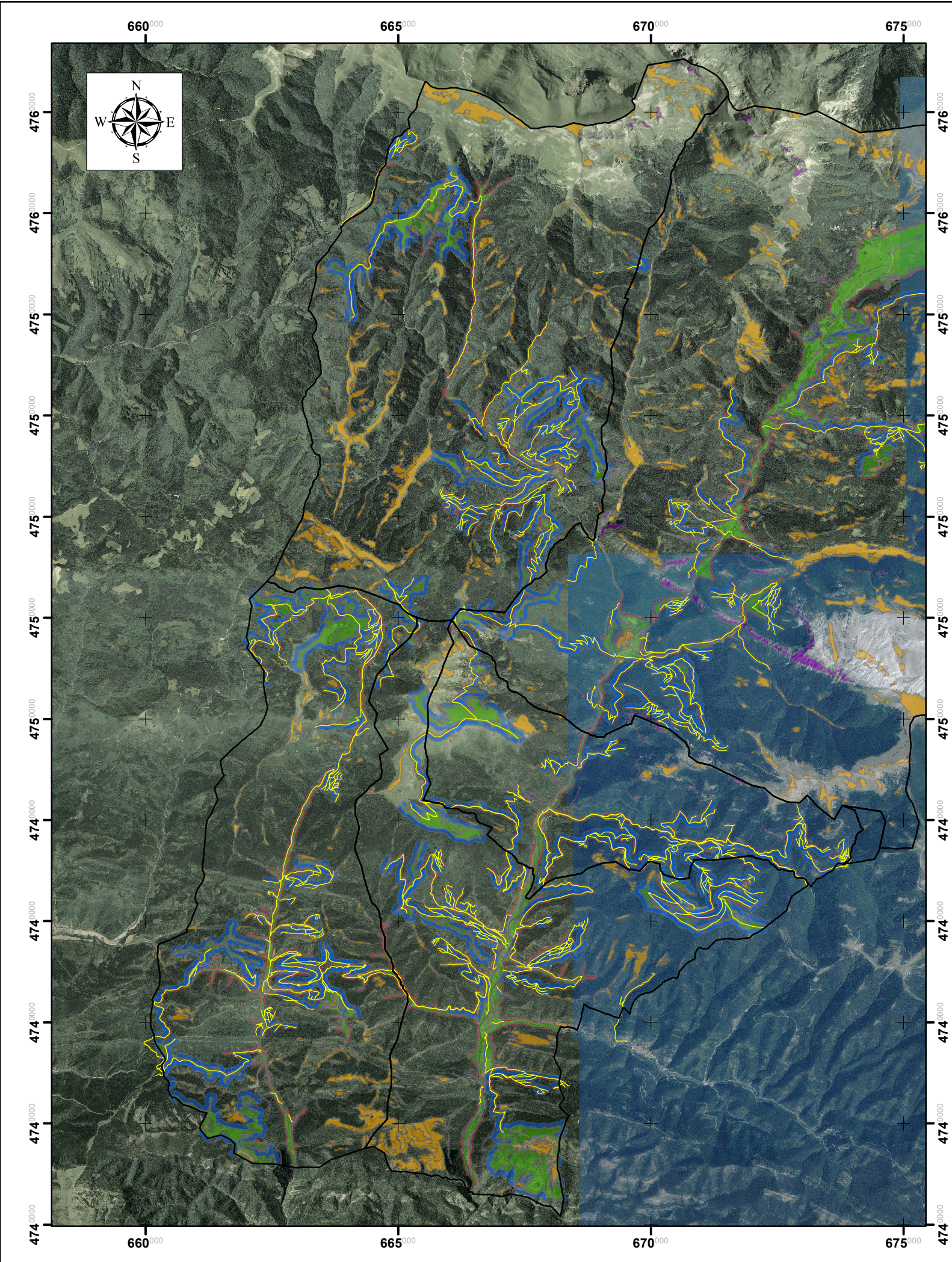
-  Pistas
-  Zonas no explotables
-  Zonas explotables

Sistema de Referencia Geodésico ETRS89  
Elipsoide GRS80. Semieje mayor (a)=6 378 137 m  
Aplanamiento (f)=1/298.26  
Longitudes referidas al meridiano Greenwich  
Latitudes referidas al Ecuador  
Proyección UTM Huso 30 N

0 0,5 1 2 Kilómetros

Proyecto						
DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE ACCESIBILIDAD PARA LA EXPLOTACIÓN FORESTAL						
Título ACCESIBILIDAD DE LA PROCESADORA Y EL AUTOCARGADOR EN IMOTZ			Ref. técnica M. Goñi y G. Miaillier		Autora Beatriz Octavio	
Centro  		Entidad responsable UPNA y Basartea SL		Firma		
		Escala 1:35.000				
				Fecha Sept. 2016	Id. Es.	Hoja 4/5





**Leyenda**

- Pistas
- Zonas transitables y accesibles
- Zonas límite con cable
  - Aguas arriba
  - Aguas abajo
- Zonas de desembosque desde pista
  - Aguas arriba
  - Aguas abajo
- Zonas explotables no accesibles
- Zonas no explotables

Sistema de Referencia Geodésico ETRS89  
Elipsoide GRS80. Semieje mayor (a)=6 378 137 m  
Aplanamiento (f)=1/298.26  
Longitudes referidas al meridiano Greenwich  
Latitudes referidas al Ecuador  
Proyección UTM Huso 30 N



Proyecto						
DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE ACCESIBILIDAD PARA LA EXPLOTACIÓN FORESTAL						
Título		Ref. técnica		Autora		
ACCESIBILIDAD DEL SKDDER EN ERRONKARI		M. Goñi y G. Miaillier		Beatriz Octavio		
Centro	Entidad responsable	Firma		Nº Identificación		
 	UPNA y Basartea SL			MAPA 5		
	Escala			Fecha	Id.	Hoja
	1:90.000			Sept. 2016	Es.	5/5